ORTAÖĞRETİM

FİZİK

DERS KİTABI

11

Bu kitap, Millî Eğitim Bakanlığı, Talim ve Terbiye Kurulu Başkanlığı'nın 28.05.2018 tarih ve 78 sayılı (ekli listenin 155'nci sırasında) kurul kararıyla 2018-2019 öğretim yılından itibaren 5 (beş) yıl süreyle ders kitabı olarak kabul edilmiştir.

YAZAR

Mustafa GÜR

Şadiye YILMAZ



ISBN
978-975-8851-88-1

Dil Uzmanı
Necla ŞANAL

Görsel Tasarım Uzmanı
Aysel GÜNEY TÜRKEÇ



Kavacık Subayevleri Mah. Fahrettin Altay Cad. No.: 4/8 Keçiören/ANKARA

tel.: (0.312) 318 51 51-50 • belgegeçer: 318 52 51



İSTİKLÂL MARŞI

Korkma, sönmez bu şafaklarda yüzen al sancak;
Sönmeden yurdumun üstünde tüten en son ocak.
O benim milletimin yıldızıdır, parlayacak;
O benimdir, o benim milletimindir ancak.

Çatma, kurban olayım, çehreni ey nazlı hilâl!
Kahraman ırkıma bir gül! Ne bu şiddet, bu celâl?
Sana olmaz dökülen kanlarımız sonra helâl.
Hakkıdır Hakk'a tapan milletimin istiklâl.

Ben ezelden beridir hür yaşadım, hür yaşarım.
Hangi çılgın bana zincir vuracakmış? Şaşarım!
Kükremiş sel gibiyim, bendimi çiğner, aşarım.
Yırtarım dağları, enginlere sığmam, taşarım.

Garbın âfâkını sarmışsa çelik zırhlı duvar,
Benim iman dolu göğsüm gibi serhaddim var.
Ulusun, korkma! Nasıl böyle bir imanı boğar,
Medeniyyet dediğin tek dişi kalmış canavar?

Arkadaş, yurduma alçakları uğratma sakın;
Siper et gövdeni, dursun bu hayâsızca akın.
Doğacaktır sana va'dettiği günler Hakk'ın;
Kim bilir, belki yarın, belki yarından da yakın.

Bastığın yerleri toprak diyerek geçme, tanı:
Düşün altındaki binlerce kefensiz yatanı.
Sen şehit oğlusun, incitme, yazıktır, atanı:
Verme, dünyaları alsan da bu cennet vatanı.

Kim bu cennet vatanın uğruna olmaz ki feda?
Şüheda fışkıracak toprağı sıksan, şüheda!
Cânı, cânânı, bütün varımı alsın da Huda,
Etmesin tek vatanımdan beni dünyada cüda.

Ruhumun senden İlâhî, şudur ancak emeli:
Değmesin mabedimin göğsüne nâmahrem eli.
Bu ezanlar -ki şehadetleri dinin temeli-
Ebedî yurdumun üstünde benim inlemeli.

O zaman vecd ile bin secde eder -varsa- taşım,
Her cerîhamdan İlâhî, boşanıp kanlı yaşım,
Fışkırır ruh-ı mücerret gibi yerden na'şım;
O zaman yükselerek arşa değer belki başım.

Dalgalan sen de şafaklar gibi ey şanlı hilâl!
Olsun artık dökülen kanlarımın hepsi helâl.
Ebediyyen sana yok, ırkıma yok izmihlâl;
Hakkıdır hür yaşamış bayrağımın hürriyyet;
Hakkıdır Hakk'a tapan milletimin istiklâl!

Mehmet Âkif Ersoy

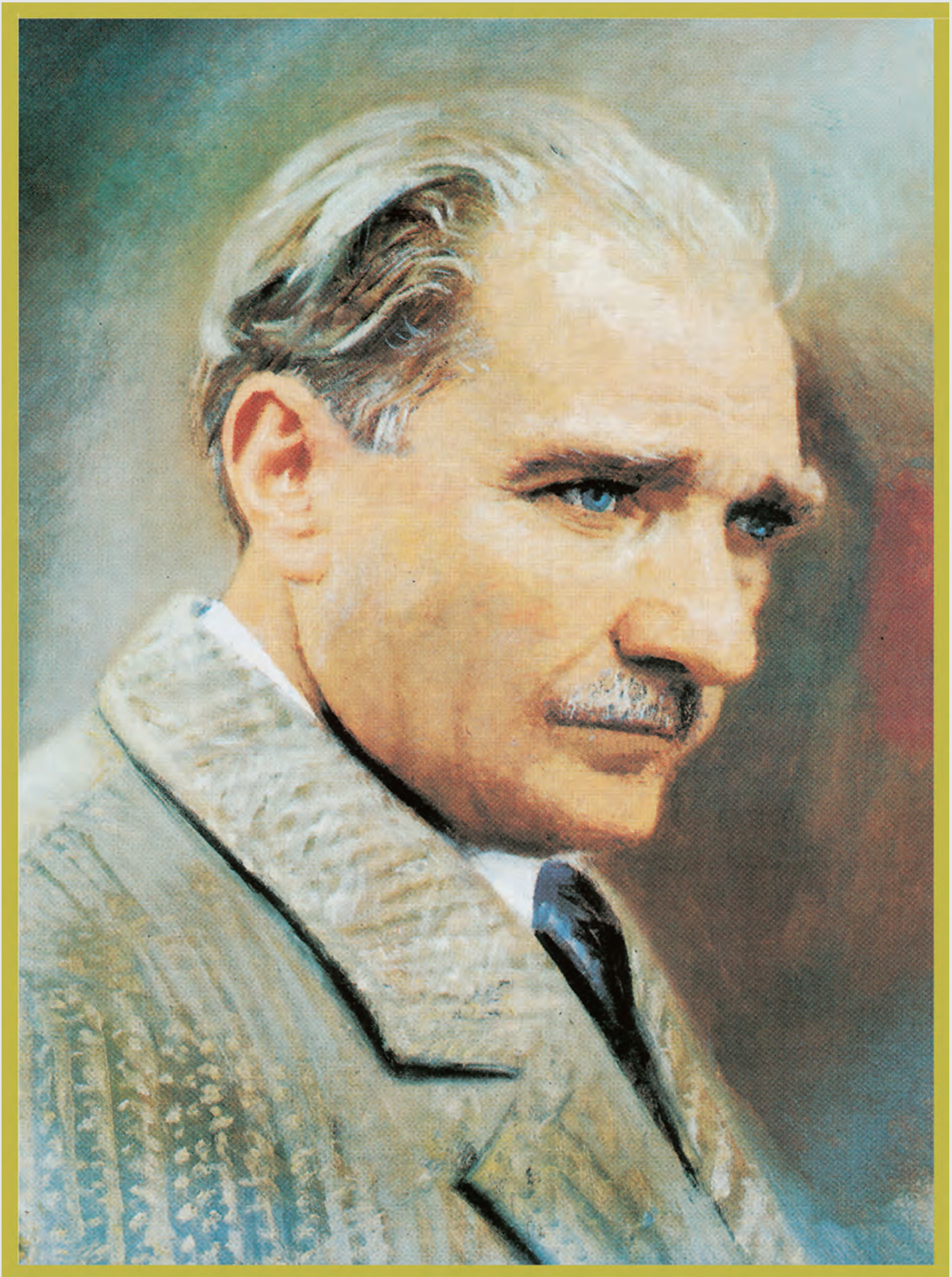
GENÇLİĞE HİTABE

Ey Türk gençliği! Birinci vazifen, Türk istiklâlini, Türk Cumhuriyetini, ilelebet muhafaza ve müdafaa etmektir.

Mevcudiyetinin ve istikbalinin yegâne temeli budur. Bu temel, senin en kıymetli hazinendir. İstikbalde dahi, seni bu hazineden mahrum etmek isteyecek dâhilî ve hâricî bedhahların olacaktır. Bir gün, istiklâl ve cumhuriyeti müdafaa mecburiyetine düşersen, vazifeye atılmak için, içinde bulunacağın vaziyetin imkân ve şeraitini düşünmeyeceksin! Bu imkân ve şerait, çok namüsait bir mahiyette tezahür edebilir. İstiklâl ve cumhuriyetine kastedecek düşmanlar, bütün dünyada emsali görülmemiş bir galibiyetin mümessili olabilirler. Cebren ve hile ile aziz vatanın bütün kaleleri zapt edilmiş, bütün tersanelerine girilmiş, bütün orduları dağıtılmış ve memleketin her köşesi bilfiil işgal edilmiş olabilir. Bütün bu şeraitten daha elîm ve daha vahim olmak üzere, memleketin dâhilinde iktidara sahip olanlar gaflet ve dalâlet ve hattâ hıyanet içinde bulunabilirler. Hattâ bu iktidar sahipleri şahsî menfaatlerini, müstevlîlerin siyasî emelleriyle tevhit edebilirler. Millet, fakr u zaruret içinde harap ve bîtap düşmüş olabilir.

Ey Türk istikbalinin evlâdı! İşte, bu ahval ve şerait içinde dahi vazifen, Türk istiklâl ve cumhuriyetini kurtarmaktır. Muhtaç olduğun kudret, damarlarındaki asil kanda mevcuttur.

Mustafa Kemal Atatürk



Mustafa Kemal ATATÜRK

İÇİNDEKİLER

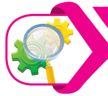
2. ÜNİTE: ELEKTRİK VE MANYETİZMA

ORGANİZASYON ŞEMASI



Ünite ile ilgili öğrenilmesi hedeflenen bilimsel kavram ve terimler verilmiştir.

Üniteyle ilgili genel bilgiler verilmiştir.


Araştırma Görevi

Anlatılan konularla ilgili araştırmaya yönlendirilmiştir.


Dikkat Ediniz

Konu ile ilgili önemli noktalara dikkat çekilmiştir.


Etkinlik

Öğrenilen konuların pekiştirilmesi için yapılacak uygulamalar verilmiştir.


Deney

Konu ile ilgili laboratuvar ortamında yapılacak deneyler verilmiştir.


Mini Performans

Öğrenilen konuların pekiştirilmesi için yapılacak performans görevleri verilmiştir.


Okuma Parçası

Öğrenilenlerin desteklenmesi, konuyla ilgili merak uyandırması ve konunun gündelik hayatla ilişkilendirilmesi amacıyla verilmiştir.


Sıra Sizde

Konularla ilgili öğrenme seviyesinin belirlenmesi amacıyla verilmiştir.





Konuyu pekiştirmek amacıyla örnekler verilip çözümleri yapılmıştır.


Uygulama

Soru çözümüne yardımcı olabilecek örnek uygulamalar verilmiştir.


Biliyor musunuz?

Konu ile ilgili merak uyandıran ilginç bilgiler verilmiştir.


BÖLÜM DEĞERLENDİRME SORULARI

Ünite bölümlerindeki kazanımların pekiştirilmesi amacıyla değerlendirme çalışmaları verilmiştir.

LABORATUVAR GÜVENLİK SEMBOLLERİ

	RADYOAKTİF GÜVENLİĞİ Radyoaktif maddeleri kullanırken gerekli önlemleri alınız.		**ELBİSE GÜVENLİĞİ** Elbiseyi lekeleyecek veya yakabilecek maddeleri kullanırken dikkatli olunuz.
	YANGIN GÜVENLİĞİ Açık alev etrafında gerekli tedbirleri alınız.		**SICAK YÜZEY UYARISI** Yapılacak işlemde bir ısıtıcı ya da sıcak bir yüzey söz konusu olduğundan gerekli önlemleri alınız.
	BİYOLOJİK TEHLİKE Bakteri, mantar, tek hücreli hayvan veya bitki tehlikesine karşı gerekli önlemleri alınız.		**ELDİVEN** Cilde zararlı bazı kimyasal maddelerle çalışırken eldiven kullanılması gerektiğini hatırlayınız.
	ELEKTRİK GÜVENLİĞİ Elektrikli aletleri kullanırken gerekli önlemleri alınız.		**GÖZ GÜVENLİĞİ** Gözler için tehlike oluşturulabilecek durumlarda koruyucu gözlük takınız.
	KİMYASAL MADDE UYARISI Deriye dokunması hâlinde yakıcı veya zehirleyici etkisi olan kimyasal maddeleri kullanırken gerekli önlemleri alınız.		**GÖZ VE YÜZ GÜVENLİĞİ** Çalışma ortamındaki buhar, toz, şiddetli ışık, yüksek sıcaklık vb. durumlara karşı gerekli önlemleri alınız.
	KESİCİ MALZEME UYARISI Kesme ve delme tehlikesi olan cisimleri kullanırken dikkatli olunuz.		**CAM MALZEME** Kırıldığında tehlikeli olan cam cisimleri kullanırken dikkatli olunuz.



1. ÜNİTE

KUVVET VE HAREKET

- VEKTÖRLER
- BAĞIL HAREKET
- NEWTON'IN HAREKET YASALARI
- BİR BOYUTTA SABİT İVMELİ HAREKET
- İKİ BOYUTTA HAREKET
- ENERJİ VE HAREKET
- İTME VE ÇİZGİSEL MOMENTUM
- TORK
- DENGE VE DENGE ŞARTLARI
- BASİT MAKİNELER

Güneş'in etrafında dönen bir gezegenin, yeryüzünden uzaya doğru fırlatılan bir roketin, bulutlardan yeryüzüne düşen bir dolu tanesinin, denizdeki bir geminin üzerinde koşan birinin hareketleri gibi birçok olayda, kuvvet ve hareket kanunları geçerlidir.

Gökyüzünde uçan bir uçağın konumunun belirlenmesi, aynı uçaktan atlayan bir paraşütlünün nereye ineceğinin hesaplanması, otomobillerdeki hava yastıklarının çarpışmalarda hangi ölçüde etkili olabileceğinin analiz edilmesi, köprülerin yıkılmadan durabilmeleri için nasıl halatlar kullanılması gerektiği, fren yapan bir arabanın nasıl yavaşlayabildiği sorularının cevapları kuvvet ve hareket kanunları ile verilebilir.

1.1. VEKTÖRLER

Bu bölümde;

- Vektörlerin özelliklerini,
- İki ve üç boyutlu koordinat sistemlerinde vektör çizimini,
- Bileşke vektör ve bileşke vektörün farklı yöntemlerle bulunmasını,
- Bir vektörün kartezyen koordinat sistemlerinde bileşenlerinin bulunmasını ve bu bileşenlerin büyüklüklerinin hesaplanmasını öğreneceğiz.

Kavramlar

- Vektör
- Bileşke vektör
- Kartezyen koordinat sistemi
- Bileşen

NEDEN ÖNEMLİ?

Günlük hayatta birçok işimizde skaler büyüklükleri kullanırız. 1 kg şeker (Görsel 1.1) ve 4 kg un (Görsel 1.2) aldığınızda toplam taşımanız gereken kütle 5 kg'dır. Skaler büyüklüklerde toplama işlemi doğrudan yapılır.

Şimdi masa üzerinde duran bir kitaba (Görsel 1.3) 10 N ve 40 N büyüklüğünde iki kuvvet aynı anda etki ettiğinde kitaba etki eden kuvvetin her durumda 50 N olduğunu söyleyebilir misiniz? Neden?

Eğer kuvvetler aynı yönde olsaydı toplam 50 N, zıt yönde olsalardı toplam 30 N kuvvet olurdu. Hatta aralarındaki açıya göre başka bir değer de olabilirdi. Bu durum, kuvvet gibi büyüklüklerle yapılan işlemlerin skaler büyüklüklerle yapılan işlemlerden farklı olduğunu gösterir.

O hâlde fiziksel bir büyüklükle ilgili işlem yapmadan önce, hangi tür büyüklük olduğunu belirlemek gerekir.



***Görsel 1.1** 1 kg şeker*



***Görsel 1.2** 4 kg un*



***Görsel 1.3** Masa üzerinde duran kitap*

1.1.1. Vektörlerin Özellikleri

9. sınıf fizik dersinde, büyüklüklerin skaler (yönsüz) ve vektörel (yönlü) büyüklükler olmak üzere ikiye ayrıldığını öğrenmiştiniz. Sayısal değeri ve birimi verildiğinde skaler büyüklük hakkında yeterli bilgiye sahip olurken vektörel büyüklüklerin ifade edilebilmesi için bunlara ek olarak başka bilgilerin de belirtilmesi gerektiğini anımsayınız.

Vektörel büyüklüklerin

- Başlangıç (uygulama) noktası,
- Doğrultusu,
- Yönü,
- Şiddeti (büyüklüğü, sayı değeri, uzunluğu) vardır.

Örneğin hızı 90 km/h olan bir aracın 2 saat sonra nerede olacağını bulabilmek için hızın büyüklüğünün yanında başlangıç noktasının, doğrultusunun ve yönünün de bilinmesi gerekir. O hâlde "**Hız vektörel büyüklüktür.**" denilebilir.



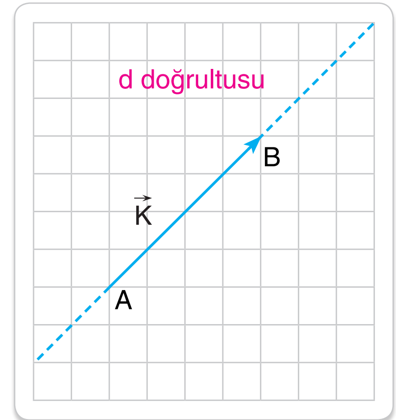
Sıra Sizde 1.1

Tabloda verilen büyüklüklerden hangileri skaler, hangileri vektöreldir? İşaretleyiniz.

Fiziksel büyüklük	Skaler	Vektörel
Sıcaklık		
Zaman		
Kütle		
Kuvvet		
Potansiyel fark		

Vektörel büyüklükler Şekil 1.1'de görüldüğü gibi yönlendirilmiş doğru parçası ile gösterilir. Vektörü ifade eden K harfinin üzerindeki ok, o niceliğin vektörel bir büyüklük olduğunu belirtir. Örneğin $\vec{K}$ gibi.

Şekil 1.1 üzerinde bir vektörün özelliklerini inceleyelim.



***Şekil 1.1** Bir vektörün gösterimi*

Doğrultu: Vektörel büyüklüğün etki ettiği doğruyu anlatır. K vektörünün doğrultusu "**d doğrultusu**", "**AB doğrusu**" ya da "**BA doğrusu**" şeklinde ifade edilebilir.

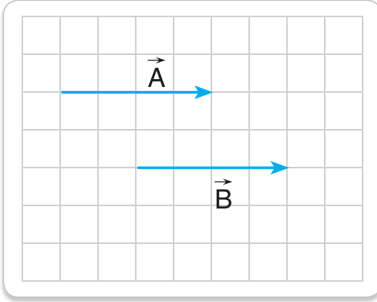
Yön: Vektörün ucundaki okun yönü aynı zamanda vektörün yönünü belirtir. "**K vektörünün yönü A'dan B'ye doğrudur.**" denir.

Başlangıç (uygulama) noktası: Vektörün uygulanmaya başlandığı noktadır. "**K vektörünün başlangıç noktası A'dır.**" denir.

Büyüklük: Vektörün uzunluğu ya da sayı değeridir. Hız için 90 km/h ya da kuvvet için 10 N demekle o vektörün büyüklüğü anlatılır.

"**K vektörünün büyüklüğü $|AB|$ kadardır.**" denir. $|\vec{K}|$ veya K şeklinde gösterilir. Bir niceliğin vektör olduğunu belirtmek için $\vec{K}$, bu vektörün büyüklüğünü belirtmek için ise K biçimi kullanılır.

Doğrultuları, yönleri ve büyüklükleri aynı olan vektörlere "**eşit vektör**" denir.



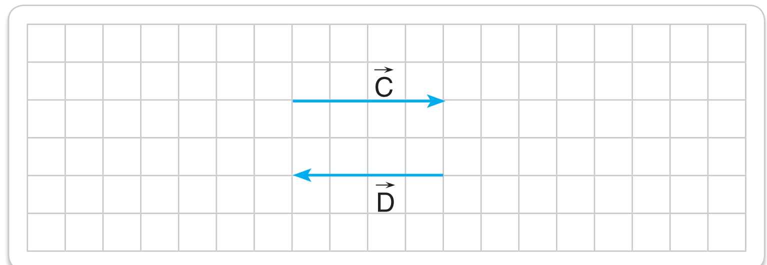
Şekil 1.2 *Eşit vektörler*

Şekil 1.2'de çizilen vektörlerin büyüklükleri eşit olduğu için $|\vec{A}| = |\vec{B}|$ yazılabilir. Aynı zamanda bu iki vektörün doğrultuları ve yönleri de aynı olduğu için bunlar eşit vektörlerdir. Eşit vektör oldukları için $\vec{A} = \vec{B}$ yazılır. Eşit vektörün tanımı, bize bir vektörün özelliklerinin değiştirilmeden bir noktadan başka bir noktaya taşınması imkânını verir.

Doğrultuları ve büyüklükleri aynı fakat yönleri birbirine zıt olan vektörlere **"zıt vektör"** denir.

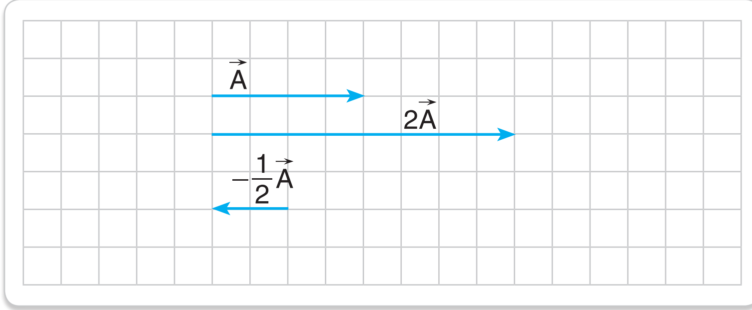
Şekil 1.3'te gösterilen $\vec{C}$ ve $\vec{D}$ vektörlerinin doğrultuları ve büyüklükleri eşit fakat yönleri zıt olduğu için zıt vektörlerdir. Bu vektörlerin büyüklükleri eşit olduğu için $|\vec{C}| = |\vec{D}|$ yazılabilir.

$\vec{C}$ ve $\vec{D}$ vektörleri arasındaki eşitlik $\vec{C} = -\vec{D}$ veya $-\vec{C} = \vec{D}$ şeklinde yazılır.



Şekil 1.3 *Zıt vektörler*

Bir vektör, skaler olan 1'den farklı pozitif bir sayı ile çarpıldığında bu sayı kadar büyür veya küçülür (Şekil 1.4). Vektörün yalnızca büyüklüğü değişir. 1'den farklı negatif bir sayı ile çarpıldığında ise hem yönü hem de büyüklüğü değişir. Her iki durumda da doğrultusu değişmez.



Şekil 1.4 *Bir A vektörünün skalerle çarpımı ile elde edilen* $2\vec{A}$ *ve* $-\frac{1}{2}\vec{A}$ *vektörleri*



Okuma Parçası

KUVVET DENİNCE

Kuvvet denince hemen herkesin aklına ilk gelen kişi şüphesiz Isaac Newton (Ayzek Nivtın, Görsel 1.4) olur. Isaac Newton 1642 yılında, İngiltere'de dünyaya geldi. Amcasının yardımıyla 1661'de Cambridge (Kembiriç) Üniversitesinde öğrenime başladı. Matematik ve optik ilgilendiği başlıca iki konudur.

1672'de Kraliyet Bilim Akademisine üye seçildi. 1687'de Doğa Felsefesinin Matematiksel İlkeleri kitabını yayımladı. Bu kitap, Newton Hareket Kanunları olarak bilinen hareket kanunları yanında, Güneş ve gezegenlerin kütlelerinin hesaplanması, gelgit olayı gibi birçok probleme açıklık getirmiştir.

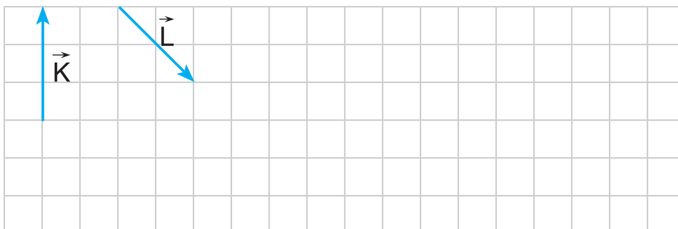


Görsel 1.4 *Isaac Newton'ın (1642-1726) temsilî resmi*



Sıra Sizde 1.2

a) $2\vec{K}, -\frac{2}{3}\vec{K}, -\frac{4}{3}\vec{K}$ **b)** $\frac{3}{2}\vec{L}, -2\vec{L}, \frac{5}{2}\vec{L}$ vektörlerini çiziniz.



1.1.2. Vektörlerin Dik Koordinat Sisteminde İki ve Üç Boyutlu Olarak Çizilmesi

Vektörler ölçekli olarak çizilir. Örneğin bir birim uzunluğunda çizilen vektör 10 N büyüklüğünde bir kuvveti temsil ediyorsa 3 birim uzunlukta çizilen vektör 30 N büyüklüğü temsil eder. Bu nedenle vektörleri hem ölçekli çizmek hem de iki veya üç boyutlu dik koordinat sisteminde çizmek önemlidir. Ayrıca vektörleri dik koordinat sisteminde çizmek, üzerinde işlem yapmayı kolaylaştırır.

Bir vektörü üç boyutlu dik koordinat sisteminde çizerken dikkat edilecek en önemli husus, vektörün hiçbir özelliğini değiştirmemektir. Vektörü iki boyutta göstermek için x – y koordinat sistemi kullanılır ve vektör çizimine orijin (0,0) noktasından başlanır. Bir K vektörünün iki boyutta gösterimi için $\vec{K} = (K_x, K_y)$biçimi kullanılır. Burada K_x, K vektörünün x ekseni üzerindeki iz düşümünün büyüklüğü; K_y, K vektörünün y ekseni üzerindeki iz düşümünün büyüklüğüdür.

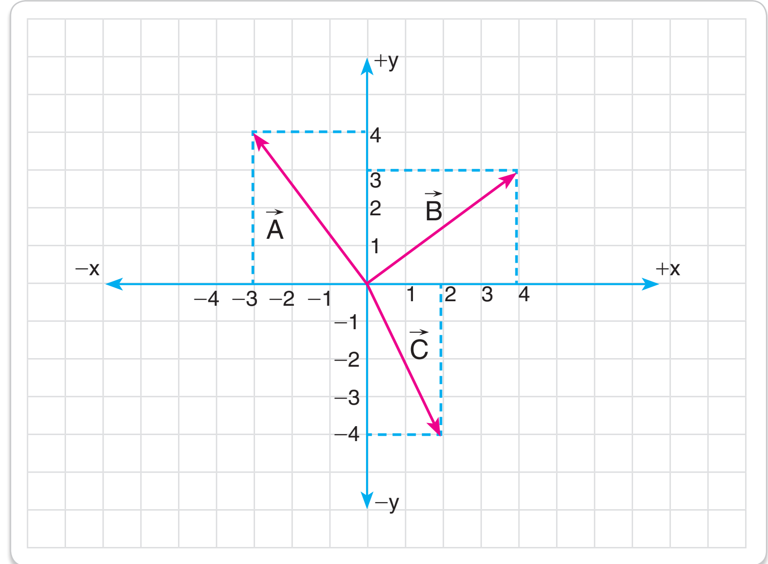


Biliyor musunuz?



***Görsel 1.5** Hermann Grassmann'ın (1809-1877) temsilî resmi*

Üçten fazla boyutlu geometriyi geliştiren Alman matematikçi Hermann Grassmann (Heaman Grasman), elektrik akımları, renkler, akustik, dil bilim, bitki bilim, folklor gibi çeşitli alanlarda çalışan çok yönlü bir bilim adamıydı. Ünlü The Ausdehnungslehre (Uzantı Teorisi) kitabında, n boyutlu bir uzayın geometrisini kurmuştur. Grassmann, içinde günümüzdeki vektör gösterim biçimlerinin bulunduğu değişmez bir simgecilik kullandı. Sonraki kuşak bu çalışmalardan yararlanarak vektör analizini geliştirdi.



***Şekil 1.5** Vektörlerin dik koordinat sisteminde iki boyutta gösterimi*

Şekil 1.5'teki tüm vektörler orijin (0,0) noktasından başlanarak çizildiğinde A vektörünün bitiş noktası $(-3,4)$ koordinatına karşılık gelmektedir. Bu durumda A vektörü için $\vec{A} = (-3,4)$, B vektörü için $\vec{B} = (4,3)$ ve C vektörü için de $\vec{C} = (2,-4)$ yazılabilir.

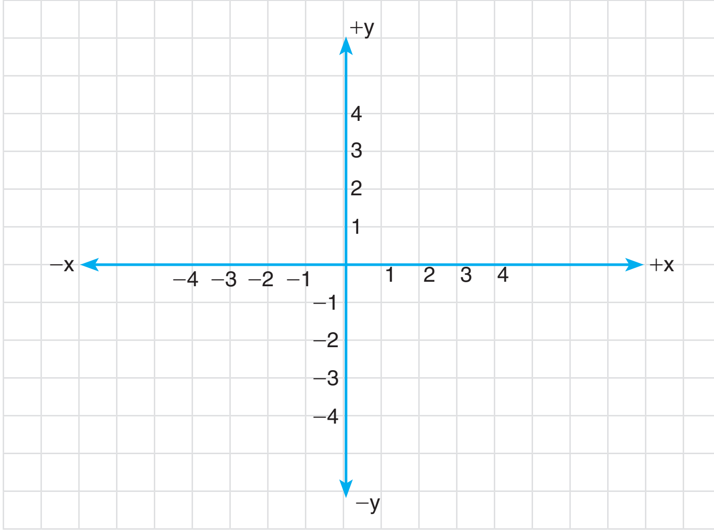


Sıra Sizde 1.3

Aşağıda koordinatları verilen vektörleri dik koordinat düzlemi üzerinde gösteriniz.

a) $\vec{D} = (-2, -2)$ **b)** $\vec{K} = (4, 2)$ **c)** $\vec{L} = (-4, 3)$

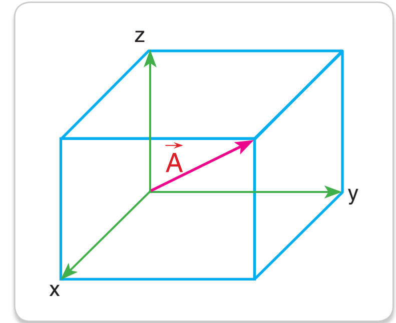
d) $\vec{M} = (-4, 0)$ **e)** $\vec{N} = (0, 3)$



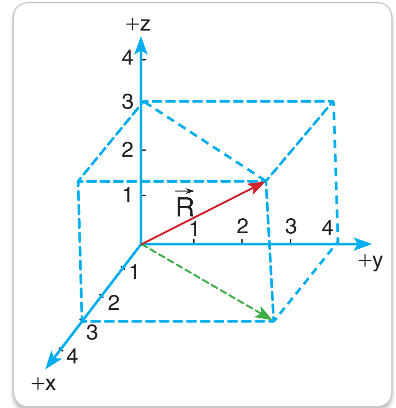
Yaşadığımız evren üç boyutlu olup bir noktanın yeri üç boyutlu x - y - z koordinat sisteminde tanımlanır.

Bir vektör üç boyutlu koordinat sisteminde genel olarak Şekil 1.6'daki gibi gösterilir. Üç boyutlu bir vektörün koordinatları için iki boyutlu vektörün koordinatlarına benzer olarak $\vec{A} = (A_x, A_y, A_z)$ biçimi kullanılır. Burada A_x, A vektörünün x ekseni üzerindeki iz düşümünün büyüklüğü; A_y, A vektörünün y ekseni üzerindeki iz düşümünün büyüklüğü ve A_z, A vektörünün z ekseni üzerindeki iz düşümünün büyüklüğüdür.

Şekil 1.7'de 3 boyutlu gösterimi yapılan R vektörünün koordinatlarını bulalım. R vektörünün bitiş noktasından z eksenine paralel çizilir. Bu çizginin x - y düzlemini kestiği noktaya, orijin noktasından başlanarak çizilen vektör iz düşüm vektörü olur. Bu iz düşüm vektörü Şekil 1.7'de yeşil renkle çizilen vektördür. İz düşüm vektörünün bitiş noktasından x ve y eksenlerine dikmeler çizilir. Bu dikmeler yardımıyla x ve y eksenleri üzerindeki büyüklükleri bulunur. Vektörün bitiş noktasından z eksenine çizilen dikme yardımıyla da z ekseni üzerindeki büyüklüğü bulunur.



Şekil 1.6 *Üç boyutlu dik koordinat sisteminde vektör gösterimi*



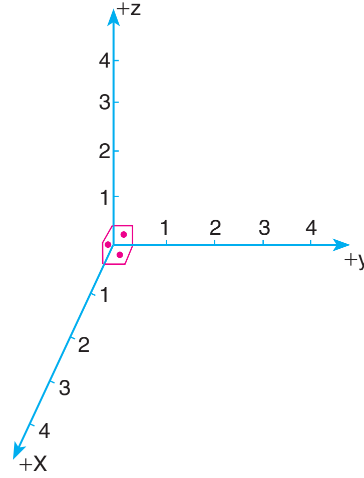
Şekil 1.7 $\vec{R} = (3, 4, 3)$ *vektörünün üç boyutlu dik koordinat sisteminde gösterimi*

Bu işlemler Şekil 1.7'deki $\vec{R}$ vektörü üzerinde gösterilmiştir. $\vec{R}$ vektörünün x koordinatı üzerindeki iz düşümü 3, y koordinatı üzerindeki iz düşümü 4 ve z koordinatı üzerindeki iz düşümü 3 noktalarına karşılık geldiği için

$\vec{R} = (3,4,3)$ şeklinde gösterilir.



Sıra Sizde 1.4



Verilen x, y, z koordinat sistemi eşit aralıklı olup her bir aralık 1 birimdir. $\vec{T} = (1,2,3)$ birim şeklinde tanımlanan vektörü 3 boyutlu koordinat sistemi üzerinde çiziniz.

1.1.3. Bileşke Vektör

a) Bileşke Vektörün Tanımı

İki veya daha fazla vektörel büyüklüğün toplanması ile elde edilen yeni vektöre "**bileşke vektör**" denir. $\vec{R}$ ile gösterilir. Bileşke vektör aynı zamanda toplanan vektörlerin yaptığı etkiyi, tek başına yapabilen vektördür.

Örneğin masa üzerinde bulunan cisme farklı doğrultularda ve şiddetlerde uygulanan iki veya daha fazla kuvvet yerine, aynı etkiyi tek başına yapabilen bir kuvvet uygulanabilir. İşte bu tek kuvvet, diğer kuvvetlerin bileşkesidir. Görsel 1.6'da halat çekme yarışı yapan insanlar, Görsel 1.7'de ağır bir yükü birlikte taşıyan halatlar ve Görsel 1.8'de birlikte kızak çeken köpekler, birden fazla kuvvet uygulanan durumlara örnek olarak verilebilir.



Görsel 1.6 *Halat çekme yarışı*



Görsel 1.7 *Bir yükü birlikte taşıyan halatlar*



Görsel 1.8 *Birlikte kızak çeken Sibirya Köpekleri*

b) Bileşke Vektörün ve Büyüklüğünün Bulunması

Bileşke vektör 3 yöntemle bulunabilir. Bu yöntemlerden hangisi uygulanırsa uygulansın, bileşke vektör değişmez. Bu nedenle istenilen veya uygulama kolaylığı olan herhangi bir yöntem seçilebilir.

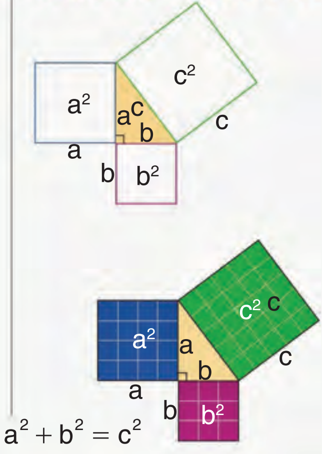
b.1. Uç Uca Ekleme (Çokgen) Yöntemi

Bu yöntem iki veya daha fazla vektörün tek işlem yapılarak bulunmasını sağlar. Bu yöntemi kullanırken uygulanacak basamaklar sırasıyla şöyledir:

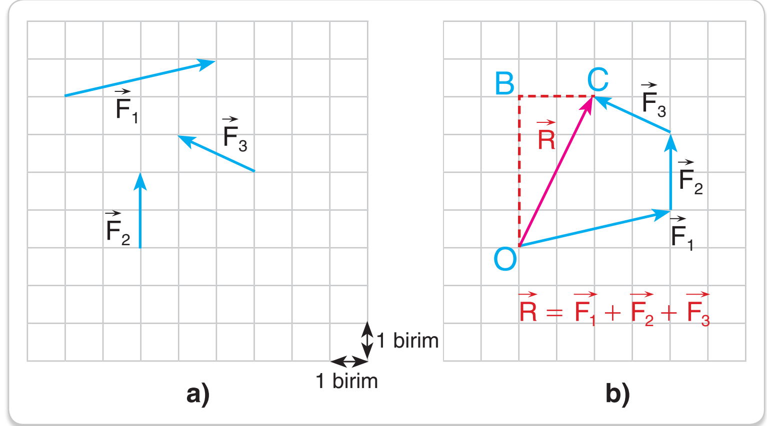
Dikkat Ediniz

Fiziksel olaylar matematiksel denklemlerle ve formüllerle ifade edilir. Bir anlamda "Matematik, fiziğin dilidir." denilebilir.

Şekil 1.8.b'deki bileşke vektörün büyüklüğü de matematiksel bir ifade olan "Pisagor Teoremi" ile bulunur.



- Şekil 1.8.a'daki gibi verilen vektörlerden herhangi biri çizilir.
- Şekil 1.8.b'deki gibi ikinci vektörün başlangıç noktası, ilk çizilen vektörün bitiş noktasına gelecek şekilde ikinci vektör çizilir. Bu işleme tüm vektörler bitene kadar devam edilir.
- İlk vektörün başlangıç noktasından, son vektörün bitiş noktasına çizilen vektör "**bileşke vektör**" olur.



***Şekil 1.8 a)** Üç kuvvet vektörü **b)** Üç kuvvet vektörünün bileşkesi*

Bileşke vektörün büyüklüğü Şekil 1.8.b'de gösterilen $(\widehat{OBC})$ dik üçgeninde, Pisagor Teoremi kullanılarak bulunur. Buna göre

$R^2 = |OB|^2 + |BC|^2$ olur.

ÖRNEK 1

Şekil 1.8.a'da çizilen kuvvetler için bir birim uzunluk 10 N kuvveti göstermektedir. Buna göre $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$ ve $\vec{F}_3$ kuvvetlerinin bileşkesini bulunuz.

ÇÖZÜM

Bileşke vektör Şekil 1.8.b'de gösterilen $\vec{R}$ vektörüdür. Bileşke vektörün büyüklüğü Pisagor Teoremi'nden

$R^2 = |OB|^2 + |BC|^2$

$= 4^2 + 2^2$

$= 20$ ise $R = 2\sqrt{5}$ birim bulunur.

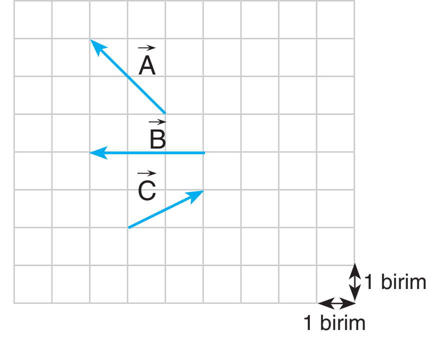
Her birim 10 N'a karşılık geldiğine göre

$R = 2\sqrt{5} \cdot 10$

$= 20\sqrt{5}$ N olur.

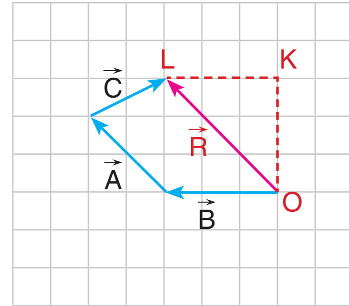
ÖRNEK 2

Şekilde eşit bölmeli zemin üzerinde gösterilen $\vec{A}$, $\vec{B}$ ve $\vec{C}$ vektörlerinin bileşkesi kaç birimdir?



ÇÖZÜM

Vektörlerden herhangi biri O noktasından başlamak üzere çizilir. Diğer vektörler uç uca ekleme yöntemindeki işlem basamaklarına göre çizilmeye devam edilir.



Üç vektörün uç uca çizimi bittikten sonra ilk vektörün başlangıç noktasından son vektörün bitiş noktasına doğru çizilen vektör bileşke vektör olur. Bu vektörün büyüklüğü $\widehat{OKL}$ üçgeninde Pisagor Teoremi uygulanarak bulunur.

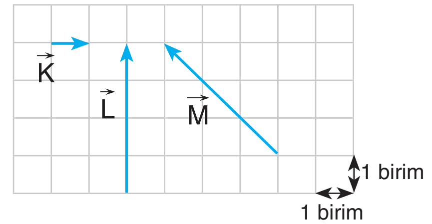
$R^2 = |OK|^2 + |KL|^2 = 3^2 + 3^2 = 18$

$R = 3\sqrt{2}$ birim bulunur.

ÖRNEK 3

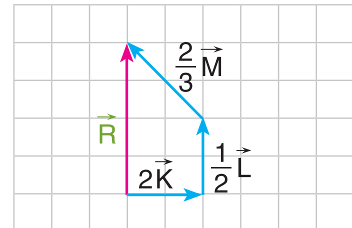
Eşit bölmeli düzlemde bulunan $\vec{K}$, $\vec{L}$ ve $\vec{M}$ vektörleri şekilde gösterilmiştir. Bu vektörlerle tanımlanan

$\vec{R} = 2\vec{K} + \frac{1}{2}\vec{L} + \frac{2}{3}\vec{M}$ bileşke vektörünü çizip vektörün büyüklüğünü bulunuz.



ÇÖZÜM

Öncelikle $2\vec{K}$, $\frac{1}{2}\vec{L}$ ve $\frac{2}{3}\vec{M}$ vektörleri çizilir.



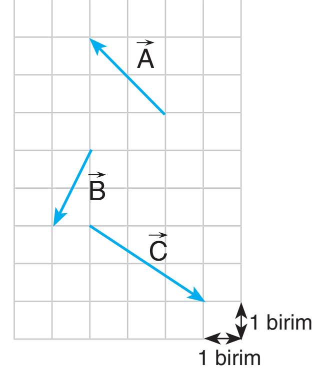
Daha sonra elde edilen bu vektörler uç uca eklenerek bileşke vektör bulunur.

Bileşke vektör şekildeki gibi olup vektörün büyüklüğü 4 birimdir. R = 4 birim bulunur.



Sıra Sizde 1.5

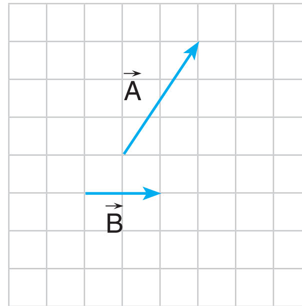
Eşit bölmeli düzlemde bulunan $\vec{A}$, $\vec{B}$ ve $\vec{C}$ vektörlerinin bileşkesini uç uca ekleme yöntemini kullanarak bulunuz. Buna göre bileşke vektörün büyüklüğü kaç birim olur?

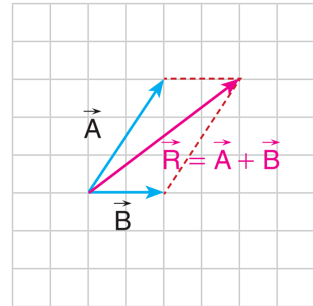


b.2. Paralelkenar Yöntemi

Bu yöntem iki vektörün bileşkesini bulmakta kullanılır. Daha fazla vektörün bileşkesini bulmakta da kullanılabilir. Ancak vektör sayısı arttıkça işlem sayısı da artar. Bu yöntemde kullanılacak işlem basamakları şu şekildedir:

- Şekil 1.9.a'daki iki vektör, Şekil 1.9.b'de gösterildiği gibi aynı noktadan başlamak üzere çizilir.
- Her bir vektörün bitiş noktasından diğer vektöre paralel çizilir.
- Vektörlerin başlangıç noktasından, çizilen paralellerin kesişim noktasına doğru çizilen vektör, bileşke vektörü verir.





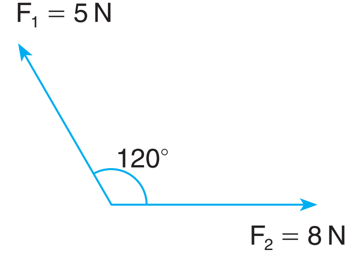
a) b)

Şekil 1.9 a) *İki vektör* ***b)*** *İki vektörün paralelkenar yöntemi ile toplanması*

Aralarında θ açısı bulunan iki vektörün bileşkesinin büyüklüğü Kosinüs Teoremi ile bulunur.

$R^2 = F_1^2 + F_2^2 + 2 \cdot F_1 \cdot F_2 \cdot \cos\theta$ Kosinüs Teoremi

ÖRNEK 4



Şekildeki gibi aralarında 120° açı olan aynı düzlemdeki 5 N ve 8 N büyüklüğündeki iki kuvvetin bileşkesini bulunuz.

$\left(\cos 120° = -\frac{1}{2}\right)$

ÇÖZÜM

Aralarında açı olan iki vektörün bileşkesini bulmak için Kosinüs Teoremi uygulanırsa

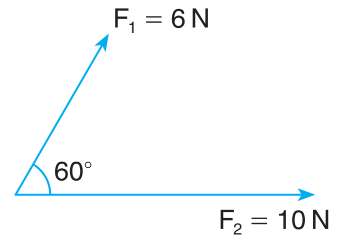
$R^2 = F_1^2 + F_2^2 + 2F_1 \cdot F_2 \cdot \cos\theta$

$R^2 = 5^2 + 8^2 + 2 \cdot 5 \cdot 8 \cdot \left(-\frac{1}{2}\right)$

$R^2 = 49$

$R = 7$ N bulunur.

ÖRNEK 5



Aynı düzlemde bulunan $\vec{F}_1$ ve $\vec{F}_2$ kuvvetlerinin bileşkesini bulunuz? $\left(\cos 60° = \frac{1}{2}\right)$

ÇÖZÜM

Kosinüs Teoremi uygulanırsa

$R^2 = F_1^2 + F_2^2 + 2F_1 \cdot F_2 \cdot \cos\theta$

$R^2 = 6^2 + 10^2 + 2 \cdot 6 \cdot 10 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)$

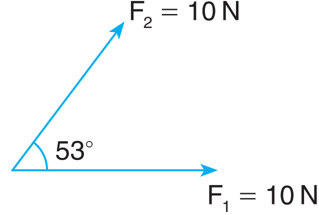
$R^2 = 196$

$R = 14$ N bulunur.



Sıra Sizde 1.6

Aralarında 53° açı bulunan aynı düzlemdeki iki kuvvetin büyüklükleri 10 N'dır. Buna göre bileşke kuvvet kaç N'dır? $\left(\cos 53^\circ = \frac{3}{5}\right)$

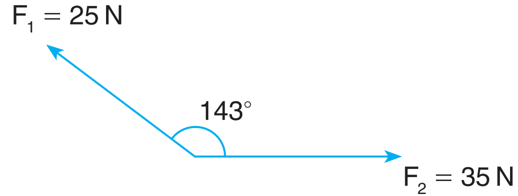




Sıra Sizde 1.7

Şekildeki gibi aralarında 143° açı bulunan aynı düzlemdeki iki kuvvetin bileşkesi kaç N'dır?

$(\sin 53^\circ = 0,8;\ \cos 53^\circ = 0,6)$



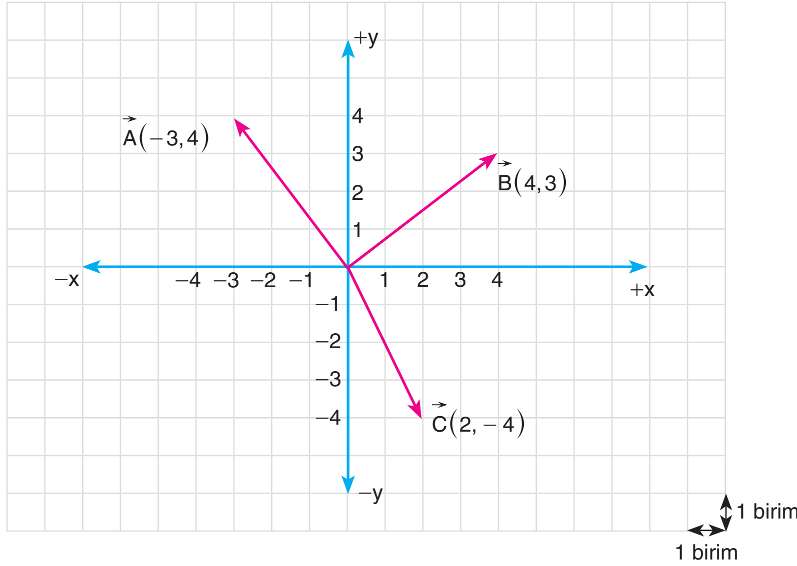
b.3. Bileşenlerine Ayırma Yöntemi

Bu yöntemle çok sayıda vektörün bileşkesi kolaylıkla bulunabilir. Bu yöntemde, vektörlerin dik koordinat sistemindeki gibi (x,y) koordinat noktalarına ihtiyaç vardır. Bileşke vektörü bileşenlerine ayırma yöntemi ile bulmak için

- Her bir vektörün (x,y) koordinat noktaları tespit edilir. Bu yapılırken her vektörün başlangıç noktası orijin olarak kabul edilir. Her vektör için bulunan x ve y değerleri aynı zamanda o vektörün eksenler üzerindeki bileşenlerinin büyüklüğü olur.
- Bileşke vektörün x ekseni üzerindeki bileşeninin büyüklüğünü bulmak için tüm vektörlerin x bileşenlerinin büyüklükleri toplanır. Bileşke vektörün y ekseni üzerindeki bileşeninin büyüklüğünü bulmak için benzer biçimde, tüm vektörlerin y bileşenlerinin büyüklükleri toplanır.
- Bileşke vektörün koordinat noktaları tespit edildikten sonra orijin noktasından başlanarak bu koordinat noktasına çizilen vektör bileşke vektörü verir.

ÖRNEK 6

Eşit bölmeli zemin üzerinde gösterilen $\vec{A}$, $\vec{B}$ ve $\vec{C}$ vektörlerinin bileşkesini bulunuz.

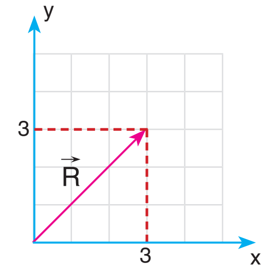


ÇÖZÜM

Her bir vektörün (x, y) koordinat noktaları yandaki tabloda gösterilmiştir. Tablodaki x ve y değerleri toplanarak bileşke vektörün x ve y bileşenleri olan R_X ve R_Y bulunur.

	x	y
A	–3	4
B	4	3
C	2	–4
R	3	3

Bileşke vektör, eşit bölmeli zemin üzerinde çizildiğinde şekildeki gibi olur.



Bileşke vektörün büyüklüğü $R^2 = R_x^2 + R_y^2$ ile bulunur.

Buna göre

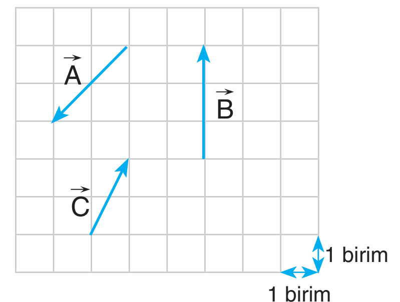
$R^2 = 3^2 + 3^2 = 18$

$R = 3\sqrt{2}$ birim olur.

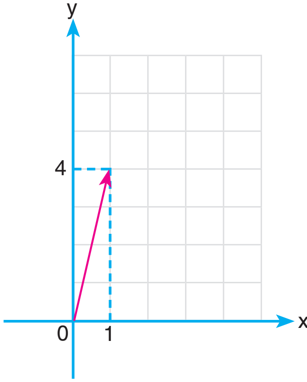
ÖRNEK 7

Eşit bölmeli zeminde görülen $\vec{A}, \vec{B}$ ve $\vec{C}$ vektörleri ile tanımlanan

$\vec{R} = \frac{1}{2}\vec{A} + \frac{1}{3}\vec{B} + 2\vec{C}$ bileşke vektörünün büyüklüğünü bileşenlerine ayırma yöntemini kullanarak bulunuz.



	x	y
A	–2	–2
B	0	3
C	1	2
$\frac{1}{2}$A	–1	–1
$\frac{1}{3}$B	0	1
2C	2	4
R	1	4



ÇÖZÜM

Her vektörün x ve y eksenleri üzerindeki x ve y bileşenlerinin büyüklükleri tabloya yerleştirilir. Daha sonra vektörlerin kendi önlerindeki katsayıları ile çarpımlarından elde edilen yeni vektörler tabloya yerleştirilir. Tablo yardımıyla bileşke vektörün R_x ve R_y bileşenleri bulunur.

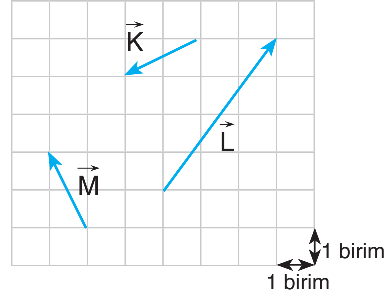
Bileşke vektör eşit bölmeli zeminde çizilir.

Buna göre

$R^2 = R_x^2 + R_y^2 \Rightarrow R^2 = 1^2 + 4^2,\ R^2 = 17 \Rightarrow R = \sqrt{17}$ birim bulunur.

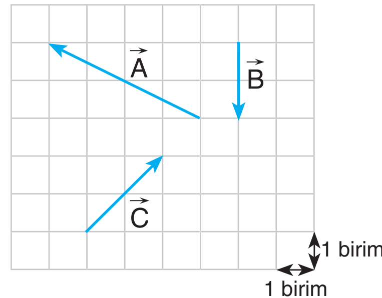
Sıra Sizde 1.8

Eşit bölmeli zemin üzerinde gösterilen $\vec{K}, \vec{L}$ ve $\vec{M}$ vektörlerinin bileşkesinin büyüklüğünü, bileşenlerine ayırma yöntemini kullanarak bulunuz.



Sıra Sizde 1.9

Eşit bölmeli zemin üzerinde gösterilen $\vec{A}, \vec{B}$ ve $\vec{C}$ vektörleri ile $\vec{R} = \frac{1}{2}\vec{A} - 2\vec{B} + 2\vec{C}$ şeklinde tanımlanan bileşke vektörün büyüklüğünü bileşenlerine ayırma yöntemini kullanarak bulunuz.



b.4. Vektörlerin Toplanmasında Yer Değiştirme ve Birleşme Özelliği

Toplama yöntemlerinin tümünde vektörlerin sırasının önemi yoktur.

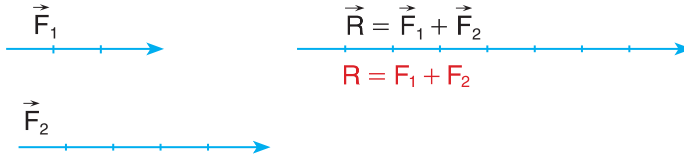
$\vec{R} = \vec{A} + \vec{B} = \vec{B} + \vec{A}$ yazılabilir. Vektörlerde, **toplamada yer değiştirme özelliği** vardır.

Aynı şekilde $\vec{R} = (\vec{A} + \vec{B}) + \vec{C} = \vec{A} + (\vec{B} + \vec{C})$ işlemi de yazılabilir. Bu da vektörlerde **toplamanın birleşme özelliği** olduğunu gösterir.

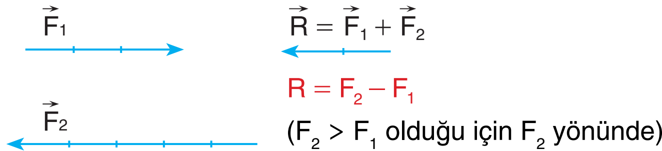
b.5. Özel Durumlar

A. Aynı Doğrultudaki Vektörler

A.1. Doğrultuları ve yönleri aynı olan iki vektörün büyüklükleri toplanarak bileşke bulunur.

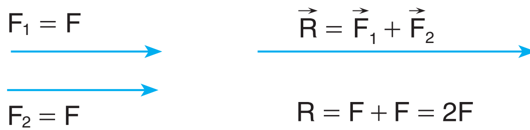


A.2. Doğrultuları aynı, yönleri zıt olan iki vektörün büyüklüklerinin farkı alınarak bileşke bulunur. Bileşke vektörün yönü büyük olan vektörün yönündedir.



B. Aynı Büyüklükteki Vektörler ($F_1 = F_2 = F$ olmak üzere)

B.1. Aralarındaki açı, $\alpha = 0°$ ise

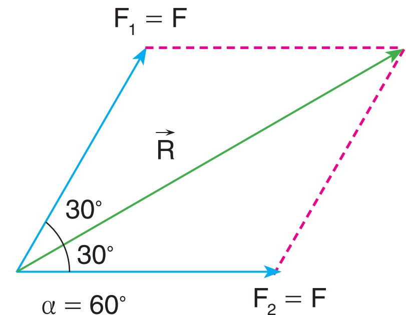


B.2. Aralarındaki açı, $\alpha = 60°$ ise

bileşke açıortay doğrultusundadır. Bileşke vektörün büyüklüğü Kosinüs Teoremi kullanılarak

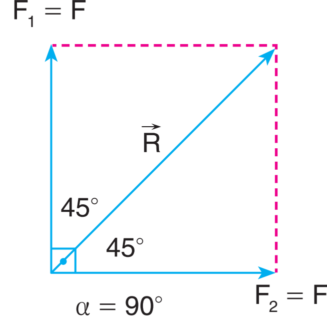
$R^2 = F_1^2 + F_2^2 + 2 \cdot F_1 \cdot F_2 \cdot \cos 60° \Rightarrow R^2 = F^2 + F^2 + 2 \cdot F \cdot F \cdot \frac{1}{2}$

$R^2 = 3F^2 \Rightarrow R = \sqrt{3}\,F$ bulunur.



Aynı büyüklükteki vektörlerin aralarındaki açı $\alpha = 60^\circ$ ise bileşke vektörün büyüklüğü, bu vektörlerin büyüklüğünün $\sqrt{3}$ katı olur.

B.3. Aralarındaki açı, $\alpha = 90^\circ$ ise



bileşke açıortay doğrultusundadır. Bileşke vektörün büyüklüğü Kosinüs Teoremi kullanılarak

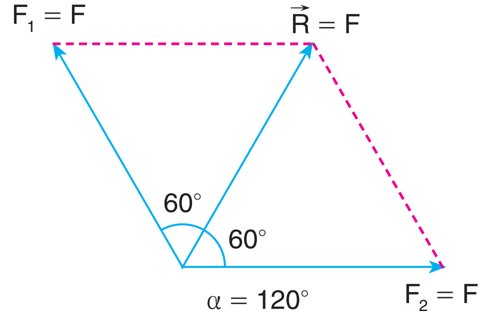
$R^2 = F_1^2 + F_2^2 + 2 \cdot F_1 \cdot F_2 \cdot \cos 90^\circ$

$R^2 = F^2 + F^2 + 2 \cdot F \cdot F \cdot 0$

$R^2 = 2F^2 \Rightarrow R = \sqrt{2}\,F$ bulunur.

Aynı büyüklükteki vektörlerin aralarındaki açı $\alpha = 90^\circ$ ise bileşke vektörün büyüklüğü, bu vektörlerden birinin büyüklüğünün $\sqrt{2}$ katı olur.

B.4. Aralarındaki açı, $\alpha = 120^\circ$ ise



bileşke açıortay doğrultusundadır. Bileşke vektörün büyüklüğü Kosinüs Teoremi kullanılarak

$R^2 = F_1^2 + F_2^2 + 2 \cdot F_1 \cdot F_2 \cdot \cos 120^\circ$

$R^2 = F^2 + F^2 + 2 \cdot F \cdot F \cdot \left(-\frac{1}{2}\right)$

$R^2 = F^2$

$R = F$ bulunur. Aynı büyüklükteki vektörlerin aralarındaki açı $\alpha = 120^\circ$ ise bileşke vektörün büyüklüğü, bu vektörlerden birinin büyüklüğüne eşit olur.

B.5. Aralarındaki açı, $\alpha = 180°$ ise

$F_1 = F$



$F_2 = F$ $\qquad R = F - F = 0$ olur.



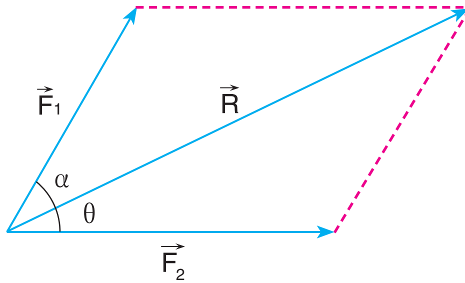
Özel durumlar incelenirse aşağıdaki çıkarımlar yapılabilir:

1. Eşit büyüklükteki vektörlerin bileşkesi, bileşenlerin arasındaki açının açıortayı doğrultusundadır.

2. Vektörlerin arasındaki açı büyürse bileşke vektör küçülür.

Şekil 1.10'daki gibi toplanan iki vektör eşit büyüklükte değilse bileşke vektör büyük olan vektörle daha küçük açı yapar. Yani büyük olan vektöre konum olarak daha yakındır.

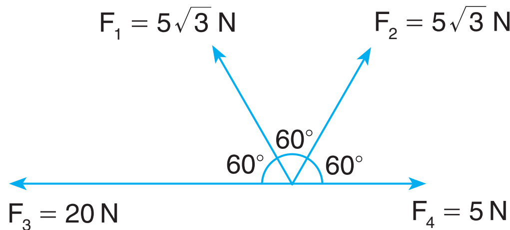
$F_2 > F_1$ ise $\alpha > \theta$ veya $F_1 > F_2$ ise $\alpha < \theta$ olur.



Şekil 1.10 *Farklı büyüklükteki iki vektörün toplanması ile elde edilen bileşke vektörün bileşenleri ile yaptığı açıların karşılaştırılması*

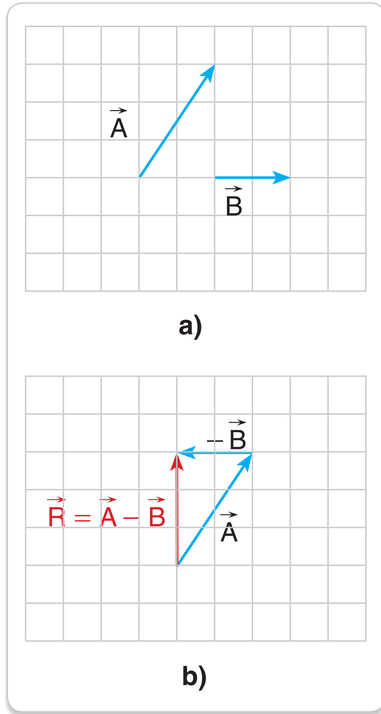
ÖRNEK 8

Şekilde verilen $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$, $\vec{F}_3$ ve $\vec{F}_4$ kuvvetlerinin bileşkesini bulunuz.

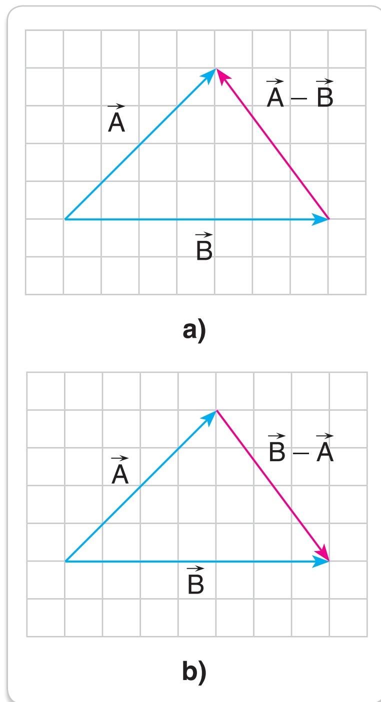


ÇÖZÜM

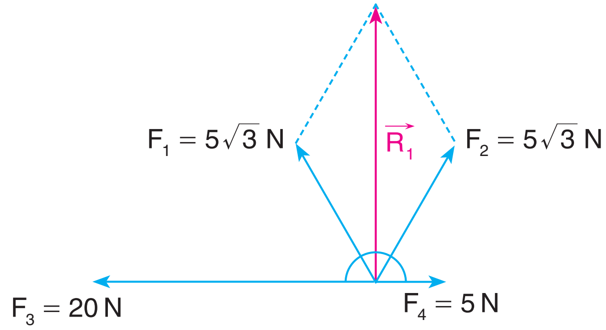
$\vec{F}_1$ ve $\vec{F}_2$ kuvvetlerinin bileşkesine $\vec{R}_1$ diyelim. Bu iki kuvvet eşit büyüklükte olup aralarındaki açı 60° olduğu için bileşkesi $R_1 = 5\sqrt{3} \cdot \sqrt{3} = 15$ N olur. Bu bileşke aynı zamanda bu iki kuvvetin arasındaki açının açıortayıdır.



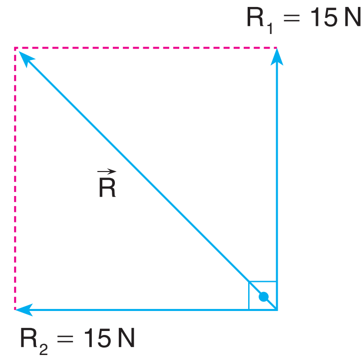
Şekil 1.11 a) *İki vektör* **b)** *İki vektör farkı*



Şekil 1.12 a) *İki vektör* **b)** *İki vektör farkı*



$\vec{F}_3$ ve $\vec{F}_4$ kuvvetlerinin bileşkesine $\vec{R}_2$ denirse bu iki kuvvet zıt yönde oldukları için bileşkenin büyüklüğü $R_2 = 20 - 5 = 15$ N olur. Yönü ise $\vec{F}_3$ kuvveti yönündedir.



$\vec{R}_1$ ve $\vec{R}_2$ kuvvetleri birbirine dik ve eşit büyüklükte kuvvetler olduğundan bu kuvvetlerin bileşkesi kuvvetlerden birinin büyüklüğünün $\sqrt{2}$ katı olur. Bu durumda $R = 15\sqrt{2}$ N bulunur.

c) Vektörlerde Çıkarma İşlemi, Fark Vektör

Şekil 1.11.a'daki $\vec{A}$ ve $\vec{B}$ vektörleri kullanılarak $\vec{R} = \vec{A} - \vec{B}$ şeklinde tanımlanan bir $\vec{R}$ bileşke vektörünü elde etmek için zıt vektör tanımı kullanılabilir. Bu tanım kullanılarak

$\vec{R} = \vec{A} - \vec{B} = \vec{A} + (-\vec{B})$ dönüşümü yapılabilir. Yapılan bu dönüşümden anlaşılacağı üzere $\vec{A}$ vektörü ile $-\vec{B}$ vektörünün toplamı Şekil 1.11.b'de gösterilen ve $\vec{R} = \vec{A} - \vec{B}$ şeklinde tanımlanan vektörü verir.

$\vec{R} = \vec{A} - \vec{B}$ şeklinde tanımlanan bir fark vektörü bulmak için uygulanan bir pratik yol daha vardır.

Vektörler paralelkenar yöntemindeki gibi aynı noktadan başlamak üzere Şekil 1.12 .a'daki ve Şekil 1.12.b'deki gibi çizilir. "–" işaretli vektörün bitiş noktasından "+" işaretli vektörün bitiş noktasına doğru çizilen vektör, fark vektörü verir.

1.1.4. Vektörlerin Bileşenleri

Bileşke vektör, iki veya daha fazla vektörün bir araya gelmesi ile oluşur. Bir vektörü bileşenlerine ayırmak, bir anlamda o vektörü oluşturabilecek diğer vektörleri belirlemek anlamına gelebilir.

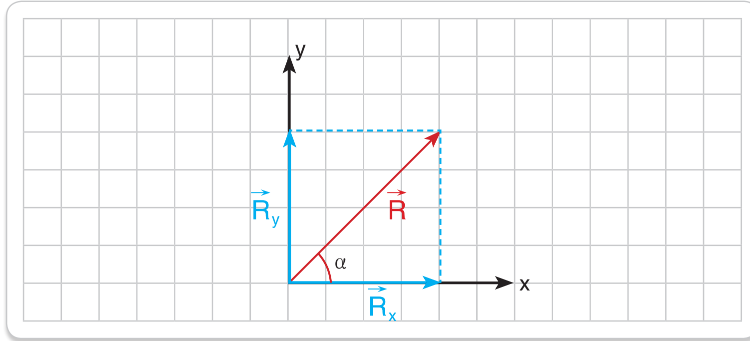
Bir R vektörünü bileşenlerine ayırmak için Şekil 1.13'teki diyagram kullanılabilir. R vektörünün bitiş noktasından x ve y eksenlerine paralel doğrular çizilerek iz düşümleri bulunur. Bu iz düşümler aynı zamanda R vektörünün bileşenleridir. y eksenine paralel çizilerek x ekseni üzerindeki iz düşümü, x eksenine paralel çizilerek y ekseni üzerindeki iz düşümü bulunur.

$\vec{R}_x$: x ekseni üzerindeki bileşeni,

$\vec{R}_y$: y ekseni üzerindeki bileşeni olmak üzere

$\cos\alpha = \dfrac{R_x}{R}$ ise $R_x = R \cdot \cos\alpha$ ve

$\sin\alpha = \dfrac{R_y}{R}$ ise $R_y = R \cdot \sin\alpha$ olur.

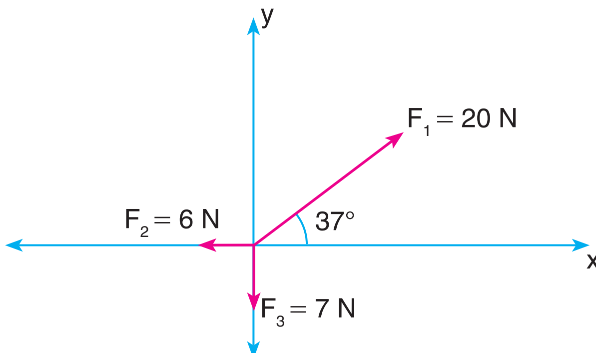


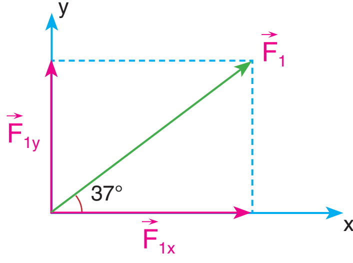
***Şekil 1.13** Vektörlerin bileşenlerine ayrılması*

ÖRNEK 9

Şekildeki üç kuvvetin bileşkesini bulunuz.

$(\sin 37° = 0,6;\ \cos 37° = 0,8)$





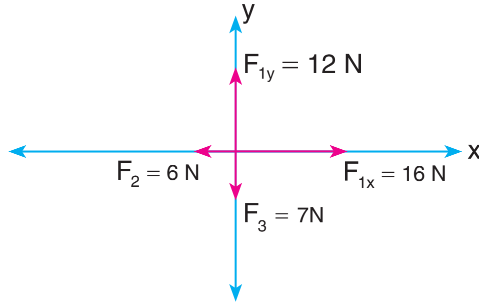
ÇÖZÜM

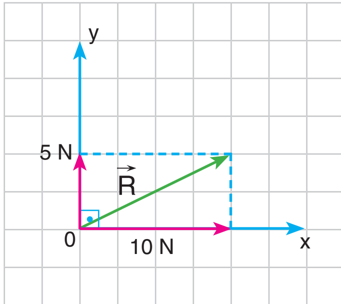
Öncelikle F_1 kuvveti bileşenlerine ayrılır.

$F_{1x} = F_1 \cdot \cos 37° = 20 \cdot 0,8 = 16\,N$

$F_{1y} = F_1 \cdot \sin 37° = 20 \cdot 0,6 = 12\,N$

Elde edilen bu iki bileşen, F_2 ve F_3 kuvvetleri ile birlikte x–y koordinat sistemi üzerinde çizilir.





F_{1y} ve F_3 kuvvetleri aynı doğrultuda zıt yönlü vektörler olduğu için bu ikisinin bileşkesi $12 - 7 = 5$ N ve +y yönünde

F_{1x} ve F_2 kuvvetleri aynı doğrultuda zıt yönlü vektörler olduğu için bu ikisinin bileşkesi $16 - 6 = 10$ N ve +x yönünde bulunur.

Aralarındaki açı 90° olan 5 N ve 10 N büyüklüğündeki iki kuvvetin bileşkesi Pisagor Teoremi'nden;

$$R^2 = 5^2 + 10^2$$
$$= 25 + 100$$
$$= 125$$
$R = 5\sqrt{5}$ N bulunur.



1. ÜNİTE: 1. BÖLÜM DEĞERLENDİRME SORULARI

A. Aşağıdaki cümlelerde boş bırakılan yerleri uygun kelimeleri kullanarak tamamlayınız.

vektörel	Pisagor Teoremi	skaler	bileşke	zıt	paralelkenar

1. İki veya daha fazla vektörün yaptığı etkiyi tek başına yapabilen vektör .... vektör olarak tanımlanır.
2. Büyüklükleri ve doğrultuları aynı, yönleri farklı olan iki vektör .... vektörlerdir.
3. Başlangıç noktaları bir araya getirilerek iki vektörü toplama yöntemine .... yöntemi denir.
4. Birbirine dik olan iki vektörün bileşkesinin büyüklüğünü bulmak için .... kullanılır.
5. Kütle, zaman ve sıcaklık .... büyüklüklerdir.

B. Aşağıdaki cümlelerin başına doğru ise "D", yanlış ise "Y" yazınız.

1. ( ) $\vec{A} = (2, 3)$ şeklinde ifade edilen vektör iki boyutta ifade edilebilir.
2. ( ) Vektörel bir büyüklüğün sayı ile çarpımı sonucu elde edilen yeni büyüklük, skaler bir büyüklüktür.
3. ( ) Duran bir cisme büyüklükleri ve doğrultuları farklı üç kuvvet uygulanırsa cisim her zaman en büyük kuvvetin yönünde harekete geçer.
4. ( ) Gökyüzündeki bir uçağın konum vektörü üç boyutlu dik koordinat sisteminde ifade edilir.

C. Aşağıdaki soruları cevaplayınız.

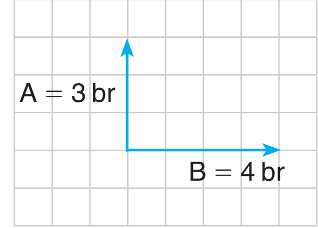
1. Fiziksel büyüklüklerin skaler ve vektörel olarak ayrı ayrı sınıflandırılmasının nedeni nedir?
2. Vektörel büyüklükleri toplamada kullanılan yöntemler nelerdir?
3. Vektörel büyüklükleri ölçekli çizmenin önemini anlatınız.
4. Fiziksel bir büyüklüğün skaler mi, yoksa vektörel mi olduğuna nasıl karar verilir?

Ç. Aşağıdaki problemleri çözünüz.

1. Büyüklükleri 12 N ve 17 N olan iki kuvvetin bileşkesinin alabileceği en büyük ve en küçük değerleri bulunuz.

2. Büyüklükleri 4 N, 6 N ve 8 N olan üç kuvvetin bileşkesinin alabileceği en büyük ve en küçük değerleri bulunuz.

3. Birbirine dik, 3 ve 4 birim büyüklüğündeki iki vektör için



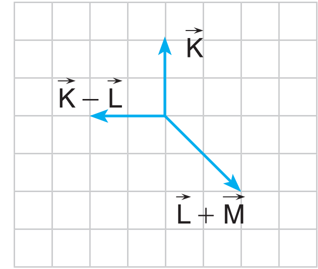
a) $\vec{R}_1 = \vec{A} + \vec{B}$

b) $\vec{R}_2 = \vec{A} - \vec{B}$

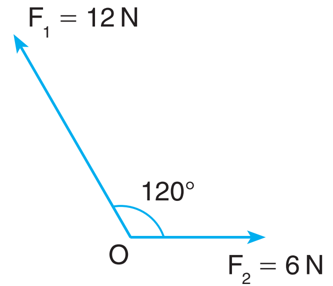
şeklinde tanımlanan R_1 ve R_2 vektörlerinin büyüklüklerini bulunuz.

4. $\vec{A} = (-2, 2)$, $\vec{B} = (0, 3)$ ve $\vec{C} = (5, -1)$ olarak verilen vektörleri, dik koordinat sisteminde gösterip, bu vektörlerin bileşkesinin büyüklüğünü bulunuz.

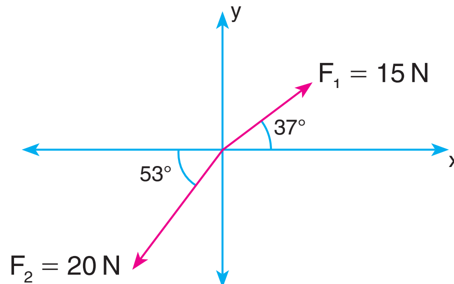
5. Şekil üzerinde $\vec{K}$, $\vec{K} - \vec{L}$ ve $\vec{L} + \vec{M}$ vektörleri verilmiştir. Buna göre L ve M vektörlerini bulunuz.



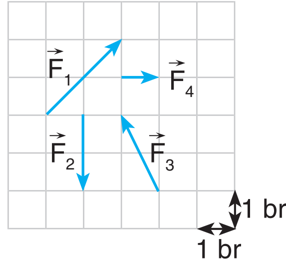
6. Şekildeki gibi O noktasal cismine uygulanan $\vec{F}_1$ ve $\vec{F}_2$ kuvvetlerinin bileşkesini bulunuz. $\left(\cos 120° = -\frac{1}{2}\right)$



7. Aynı düzlemde bulunan $\vec{F}_1$ ve $\vec{F}_2$ kuvvetlerinin bileşkesini bulunuz. $(\sin 37° = 0,6; \cos 37° = 0,8)$



8. Aşağıdaki şekilde 1 birim uzunluk 5 N'a karşılık gelmektedir. Aynı düzlemdeki 4 kuvvetin bileşkesini bileşenlerine ayırma yöntemini kullanarak bulunuz.

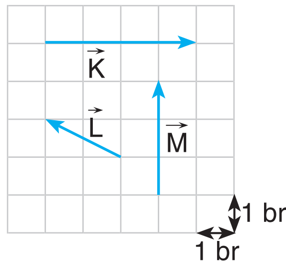


D. Aşağıdaki test sorularını çözünüz.

1. Dikdörtgenler prizması şeklindeki bir odanın boyutları 2 m, 3 m ve 6 m dir. Bu oda içindeki bir arının yapabileceği en büyük yer değiştirme kaç m olur?

A) 6 **B)** $2\sqrt{10}$ **C)** $3\sqrt{5}$ **D)** 7 **E)** 11

2. Eşit bölmelendirilmiş zemin üzerinde gösterilen $\vec{K}, \vec{L}$ ve $\vec{M}$ vektörleri ile $\vec{R} = -\frac{1}{2}\vec{K} + \frac{2}{3}\vec{M} - 2\vec{L}$ olarak tanımlanan bileşke vektörün büyüklüğü kaç birimdir?



A) 1 **B)** 2 **C)** $\sqrt{5}$ **D)** 3 **E)** $2\sqrt{5}$

1.2. BAĞIL HAREKET

Bu bölümde;

- Sabit hızlı iki cismin hareketini birbirine göre yorumlamayı,
- Hareketli bir ortamda sabit hızla hareket eden cisimlerin hareketini, farklı gözlem çerçevelerine göre yorumlamayı,
- Bağıl hareket ile ilgili hesaplamalar yapmayı öğreneceğiz.

Kavramlar

- Bağıl hareket
- Bağıl hız
- Bileşik hareket
- Gözlem çerçevesi

DÜŞÜNCE İSTASYONU

Yakın bir gelecekte gerçekleştirebileceğimiz bir uzay yolculuğuna şimdiden hazırlık yapalım. Görsel 1.9'daki gibi bize doğru yaklaşan bir gök cismini gördüğümüzde gök cismi ve bulunduğumuz uzay aracının hareketi hakkında farklı yorumlar yapabiliriz.



Görsel 1.9 *Kendisine yaklaşan gök cismini gören astronot*

- Bizim durduğumuzu, gök cisminin bize doğru geldiğini,
- Gök cisminin durduğunu, bizim ona doğru gittiğimizi,
- Gök cisminin arkasından aynı yönde, daha hızlı hareket ettiğimizi,
- Gök cisminin önünden aynı yönde, daha yavaş hareket ettiğimizi söyleyebiliriz.

Dikkat edilirse her durum için aynı algıdan bahsederiz: “Gök cismi bize doğru yaklaşıyor.”

Görsel 1.10'da gök cisminin kendisinden uzaklaştığını algılayan astronotun düşünceleri için benzer yorumlarda bulunabilir misiniz?



Görsel 1.10 *Kendisinden uzaklaşan gök cismini gören astronot*

1.2.1. Sabit Hızlı İki Cismin Birbirine Göre Hareketi

Hareketin göreli bir kavram olduğunu, bir referans noktası seçilerek tanımlandığını ve evrende mutlak duran hiçbir cismin olmadığını 9. sınıfta öğrenmiştiniz. Sınıfınızdaki masayı göstererek "Bu masa hareket ediyor mu?" diye soran öğretmeninize: "Nereye göre?" diyerek cevap verdiğinizi hatırlayınız.

Bir arabayla yolculuk yaparken etrafınızdaki ağaçlara, evlere, yürüyen insanlara baktığınızda hareket ettiğinizi söylersiniz. Hareket hâlindeki bir trende, gözleri kapalı olan biri bile trenin sesinden ve raylar üzerindeki sarsıntıdan dolayı trenin hareket ettiğini söyleyebilir (Görsel 1.11). Peki, tüm bu hareketler "**nereye göre**" tanımlanır? Çevre ile iletişiminizden ve algılarınızdan dolayı Dünya'ya göre tanımlarsınız. Oysaki evrendeki tüm gök cisimleri gibi Dünya da hareket hâlindedir. Dünya, Güneş'in etrafında dönerek hareket ettiği hâlde "duruyor" kabul edersiniz. Yani günlük hayattaki referans sisteminiz duruyor kabul ettiğiniz Dünya'dır.



Görsel 1.11 *Yolculuk sırasında gözleri kapalı olan bir yolcu, sarsıntı ve seslerden dolayı trenin raylar üzerindeki hareketini hissedebilir.*

Yolculuk hâlindeki bir otobüste Görsel 1.12'deki gibi yanyana oturan iki arkadaşı düşününüz. Zaman geçmesine rağmen iki arkadaşın birbirine göre konumları değişmediği için, "**birbirine göre hareketsiz**" oldukları söylenir. Referans noktası olarak otobüs seçildiğinde oturan yolcular, otobüse göre yer değiştirme yapmadıkları için "**otobüse göre hareketsiz**" kabul edilebilir.

Referans noktası olarak yol kenarında duran bir kişi seçildiğinde ise yolcuların zamanla konumu bu kişiye göre değiştiği için "**yol kenarında duran kişiye göre hareketli**" olurlar. Bir cismin



Görsel 1.12 *Otobüsün içinde oturan iki kişi birbirine göre hareketsizdir.*

hareketini tanımlamak için duruyor kabul edilen noktaya "**referans noktası**", cismin seçilen referans noktasına göre hareketine "**bağıl hareket**", hızına ise "**bağıl hız**" denir.

Görsel 1.13'teki gibi birbirine paralel raylarda hareket eden iki tren eğer aynı yönde ve eşit hızlarla hareket ediyorsa bu trenler birbirine göre hareketsiz olur. Trenlerde oturan yolcular da diğer treni "**duruyor**" olarak algılar.



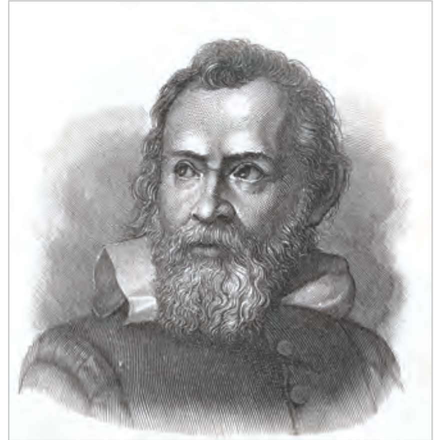
Görsel 1.13 *Paralel raylarda hareket eden iki tren*



Okuma Parçası

DÜNYA MI GÜNEŞ'İN ETRAFINDA YOKSA GÜNEŞ Mİ DÜNYA'NIN ETRAFINDA DÖNÜYOR?

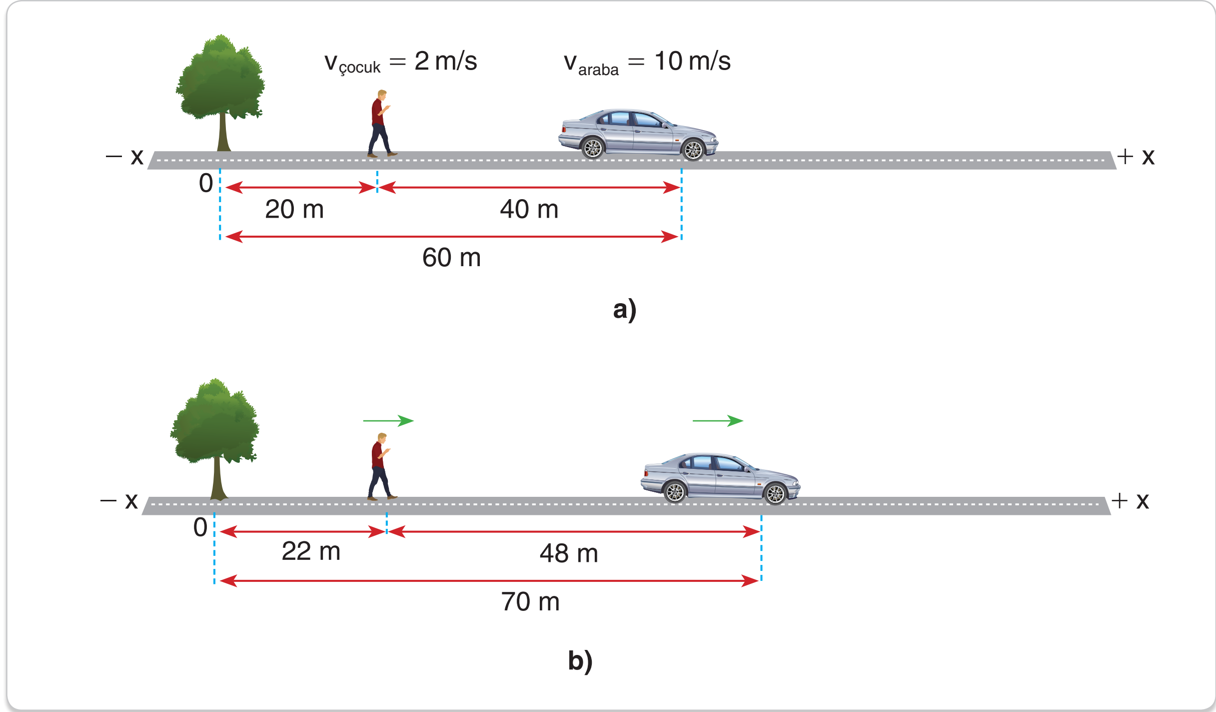
Eski Yunan ve İyonya kültüründe salt düşünme süreçlerine dayanan ve doğadan kopuk doğayı anlama çabalarını bir kenara bırakırsak bu yöndeki ilk büyük ve anlamlı sıçramayı Rönesans döneminin sonlarına doğru bilim dünyasında yer alan iki bilim adamına borçluyuz: Galileo Galilei (Galileyo Galileyi, Görsel 1.14) ve Isaac Newton. Bu iki bilim adamının ortak özellikleri doğayı anlamada uyguladıkları yöntemdir. Galileo, babasının isteğine uyarak, Pisa Üniversitesinde tıp öğrenimine başladı.



Görsel 1.14 *Galileo Galilei'nin (15 Şubat 1564 - 8 Ocak 1642) temsilî resmi*

Buluşlarından ilkini 1581 yılında 17 yaşındayken yapmıştır. Pisa Katedrali'nde ayinlere katılırken şamdanların rüzgâr etkisiyle uzun koridorlarda salınımlarını gözlemlemiştir. Salınımların genlikleri ne kadar olursa olsun geçen zamanın aynı olduğunu nabız atışlarını sayarak bulmuştur. Eve döndüğünde aynı uzunlukta iki sarkaç yaparak bu gözlemini tekrarlamış, salınım zamanının genlikten bağımsız olduğunu görmüştür. Galileo'nun sarkaç ilkesini keşfi, zaman ölçme aletlerinin tasarımında yepyeni bir kavramın gelişmesine yol açtı. Galileo, Jüpiter çevresinde dört tane uydu bulmuş ve Satürn'ün çevresinde bir kozmik karmaşanın belirtilerini keşfetmişti. 1610 yılı sonlarına doğru Galileo'nun Güneş'le ilgili çalışmaları sonuç verdi. Güneş lekelerini inceleyen Galileo Güneş'in kendi ekseni etrafında döndüğünü buldu.

Aynı ortamda bulunan hareketlilerin birbirinin hareketleri ve hızlarını nasıl algıladıklarını Şekil 1.14.a'da verilen örnekte inceleyelim.



***Şekil 1.14 a)** Hareketlilerin t = 0 anındaki konumları ve hızları **b)** t = 1 s anında çocuğun ve arabanın konumları*

Referans noktası olarak ağaç seçildiğinde

Şekil 1.14.a'da t = 0 anında arabanın ilk konumu x_{ilk} = +60 m, Şekil 1.14.b'de t = 1 s anında ise son konumu x_{son} = +70 m ve yer değiştirmesi Δx = +10 m bulunur. Arabanın "**ağaca göre hızı**";

$$v_{araba} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{10}{1} = 10 \text{ m/s olur.}$$

Referans noktası olarak çocuk seçildiğinde

Şekil 1.14.a'da t = 0 anında arabanın ilk konumu x_{ilk} = +40 m, Şekil 1.14.b'de t = 1 s anında ise son konumu x_{son} = +48 m ve yer değiştirmesi Δx = +8 m bulunur. Arabanın "**çocuğa göre hızı**";

$$v_{araba} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{8}{1} = 8 \text{ m/s olur.}$$

Araba için farklı büyüklükte hızlar bulunmasının sebebi, farklı referans noktalarının seçilmesidir. Ağacın bulunduğu nokta referans noktası olarak seçildiğinde bulunan hız "**arabanın ağaca göre bağıl hızını**", çocuğun bulunduğu nokta referans noktası olarak seçildiğinde bulunan hız ise "**arabanın çocuğa göre bağıl hızını**" verir.



Görsel 1.15 *İki araç, aynı doğrultuda ve aynı yönde hareket etmektedir.*



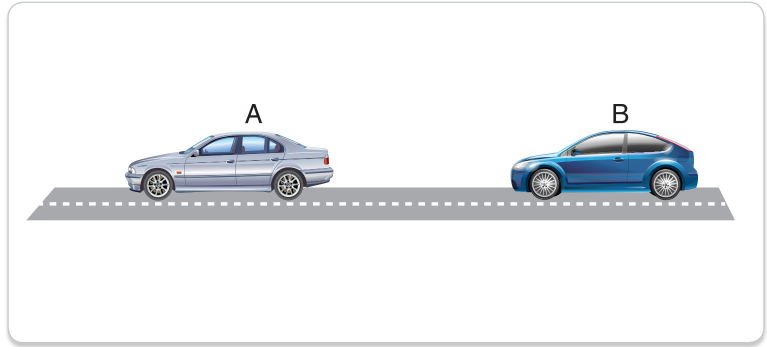
Görsel 1.16 *Aynı doğrultuda fakat zıt yönde hareket eden iki trenin birbirine göre bağıl hızları, yere göre hızlarından daha büyüktür.*

Bağıl hız bağıntısı bulunurken referans noktası duruyor kabul edilir. Bunun için hareketi tanımlanmak istenen cismin "**yere göre hızından**", "**referans noktasının yere göre hızı**" çıkarılır. Bu çıkarma işlemi vektöreldir.

Diğer bir anlatımla referans noktasının yere göre hızını sıfır yapacak vektör, diğer hareketlinin hız vektörüne eklenir. Elde edilen hız vektörü, bağıl hızı verir. Bağıl hız,

$\vec{v}_{bağıl} = \vec{v}_{gözlenen} - \vec{v}_{gözlemci}$ bağıntısı ile bulunur.

Görsel 1.15'te, iki araba aynı doğrultuda ve aynı yönde hareket ederken Görsel 1.16'daki iki tren aynı doğrultuda fakat zıt yönlerde hareket etmektedir.



Şekil 1.15 *Aynı doğrultuda hareket eden araçlar*

Şekil 1.15'te görülen A aracının B aracına göre hareketini tanımlamak istediğimizde A aracı "**gözlenen**" ve B aracı "**gözlemci**" olur. Bu hız A'nın B'ye göre hızı olur ve $\vec{v}_{AB}$ olarak gösterilir. Bağıl hız,

$$\vec{v}_{bağıl} = \vec{v}_{gözlenen} - \vec{v}_{gözlemci}$$

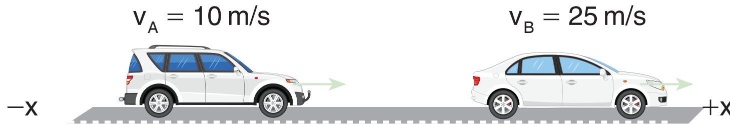
$\vec{v}_{AB} = \vec{v}_A - \vec{v}_B$ olur.

Yine Şekil 1.15'te görülen B aracının, A aracına göre hareketini tanımlamak istediğimizde B aracı "gözlenen" ve A aracı "gözlemci" olur. Bu hız B'nin A'ya göre hızı olur ve $\vec{v}_{BA}$ olarak gösterilir. Bağıl hız,

$$\vec{v}_{bağıl} = \vec{v}_{gözlenen} - \vec{v}_{gözlemci}$$

$\vec{v}_{BA} = \vec{v}_B - \vec{v}_A$ olur.

ÖRNEK 10



Aynı doğrultuda ve aynı yönde hareket eden araçlardan A aracının yere göre hızı $v_A = 10$ m/s, B aracının yere göre hızı $v_B = 25$ m/s'dir. Buna göre;

a) A aracının sürücüsüne göre B aracının hızını,

b) B aracının sürücüsüne göre A aracının hızını bulunuz.

ÇÖZÜM

a) A aracının sürücüsü gözlemci ve B aracı gözlenen olur. Buna göre

$$\vec{v}_{bağıl} = \vec{v}_{gözlenen} - \vec{v}_{gözlemci}$$

$$\vec{v}_{BA} = \vec{v}_B - \vec{v}_A \text{ olur.}$$

Aynı doğrultudaki vektörler oldukları için

$v_{BA} = (+25) - (+10) = +15$ m/s bulunur. Gözlemci olan A aracı, B aracını + yönde 15 m/s hızla hareket ediyormuş gibi görür.

b) B aracının sürücüsü gözlemci ve A aracı gözlenen olur. Buna göre

$$\vec{v}_{bağıl} = \vec{v}_{gözlenen} - \vec{v}_{gözlemci}$$

$$\vec{v}_{AB} = \vec{v}_A - \vec{v}_B \text{ olur.}$$

Aynı doğrultudaki vektörler oldukları için

$v_{AB} = (+10) - (+25) = -15$ m/s bulunur. Gözlemci olan B aracı, A aracını – yönde 15 m/s hızla hareket ediyormuş gibi görür.



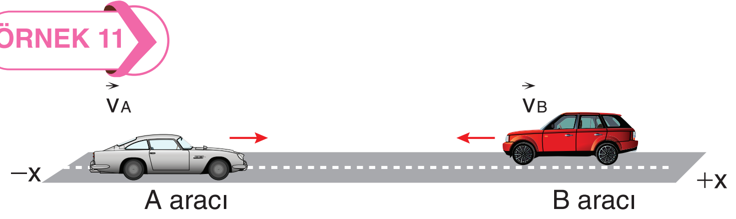
Sıra Sizde 1.10

Doğuya doğru giden araçlardan K aracının hızı 20 m/s, L aracının hızı ise 30 m/s'dir.

a) K aracının sürücüsüne göre L aracının hızını ve hareket yönünü,

b) L aracının sürücüsüne göre K aracının hızını ve hareket yönünü bulunuz.

ÖRNEK 11



Aynı doğrultuda, zıt yönlerde hareket eden araçlardan A aracının yere göre hızının büyüklüğü 10 m/s ve B aracının yere göre hızının büyüklüğü 25 m/s'dir.

Araçlar şekilde belirtilen yönlerde hareket ettiğine göre;

a) A aracının sürücüsüne göre B aracının hızını,

b) B aracının sürücüsüne göre A aracının hızını bulunuz.

ÇÖZÜM

a) A aracının sürücüsü gözlemci iken B aracı gözlenen olur. Buna göre, araçların bağıl hızlarını bulabilmek için,

$\vec{v}_{bağıl} = \vec{v}_{gözlenen} - \vec{v}_{gözlemci}$ bağıntısından,

$\vec{v}_{BA} = \vec{v}_B - \vec{v}_A$ olur.

Aynı doğrultudaki vektörler olduklarından

$v_{BA} = (-25) - (+10) = -35$ m/s bulunur. Gözlemci olan A aracı, B aracını "–" yönde 35 m/s hızla hareket ediyormuş gibi görür.

b) B aracının sürücüsü gözlemci iken A aracı da gözlenen olur. Buna göre, araçların bağıl hızlarını bulabilmek için;

$\vec{v}_{bağıl} = \vec{v}_{gözlenen} - \vec{v}_{gözlemci}$ bağıntısından,

$\vec{v}_{AB} = \vec{v}_A - \vec{v}_B$ olur.

Aynı doğrultudaki vektörler olduklarından

$v_{AB} = (+10) - (-25) = +35$ m/s bulunur. Gözlemci olan B aracı, A aracını "+" yönde 35 m/s hızla hareket ediyormuş gibi görür.



Sıra Sizde 1.11

Bir otomobil kuzeye doğru 90 km/h, otobüs ise 60 km/h hızla güneye doğru gitmektedir.

a) Otomobil sürücüsüne göre otobüsün hızını ve hareket yönünü,

b) Otobüs sürücüsüne göre otomobilin hızını ve hareket yönünü bulunuz.

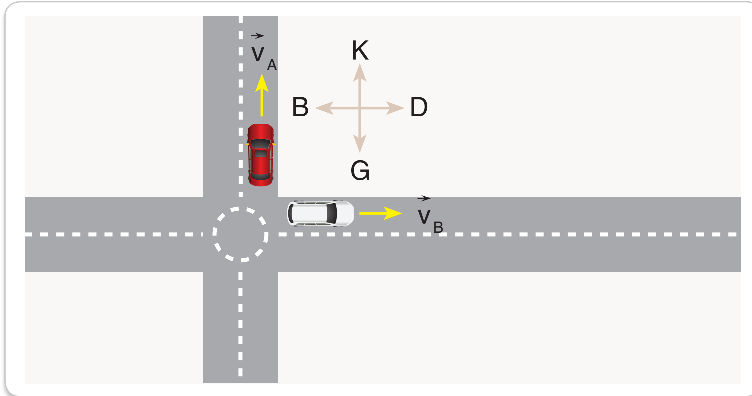
Görsel 1.17'deki iki uçak ve Görsel 1.18'deki arabalar farklı doğrultularda hareket etmektedir. Bu hareketlilerin birbirine göre bağıl hızlarının $\vec{v}_{bağıl} = \vec{v}_{gözlenen} - \vec{v}_{gözlemci}$ bağıntısıyla bulunduğunu, ayrıca vektörlerde çıkarma işleminin nasıl yapılacağını öğrendiniz.



Görsel 1.18 Kavşak yakınındaki arabalar farklı doğrultularda hareket etmektedir.

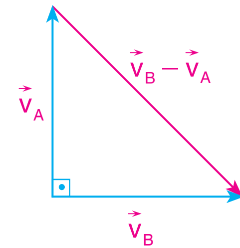


Görsel 1.17 Farklı doğrultularda hareket eden iki uçak

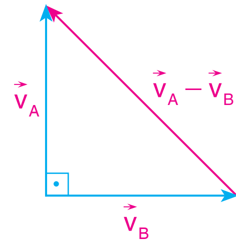


Şekil 1.16 Kavşaktaki hareketliler

Şekil 1.16'daki gibi farklı doğrultularda hareket eden araçların bağıl hız vektörleri $\vec{v}_{bağıl} = \vec{v}_{gözlenen} - \vec{v}_{gözlemci}$ bağıntısı kullanılarak bulunmuştur ve Şekil 1.17'de gösterilmiştir. Şekil 1.17.a'da B aracının A aracına göre bağıl hız vektörü, Şekil 1.17.b'de ise A aracının B aracına göre bağıl hız vektörü gösterilmiştir.



a) *B aracının A aracına göre hızı*

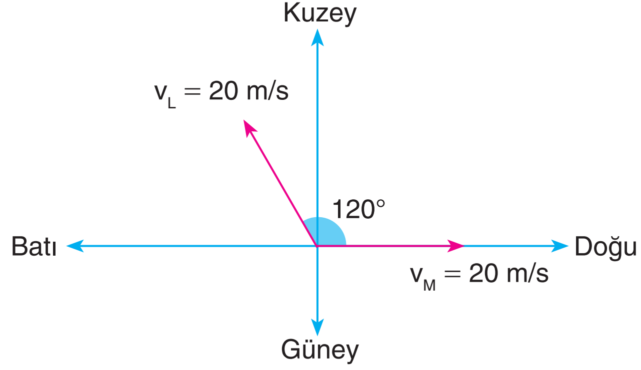


b) *A aracının B aracına göre hızı*

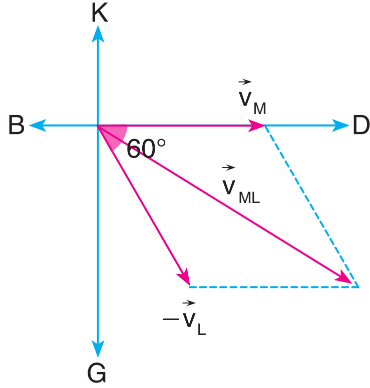
Şekil 1.17 Farklı doğrultularda hareket eden araçların bağıl hızları

ÖRNEK 12

L ve M araçları şekilde belirtilen yönlerde, yere göre $\vec{v}_L$ ve $\vec{v}_M$ hızlarıyla hareket etmektedir. L aracından bakan gözlemci M aracını hangi yönde hangi hızla gidiyor gibi görür?



ÇÖZÜM



L aracından bakan gözlemci M aracını $\vec{v}_{ML}$ bağıl hızıyla görür. Buna göre

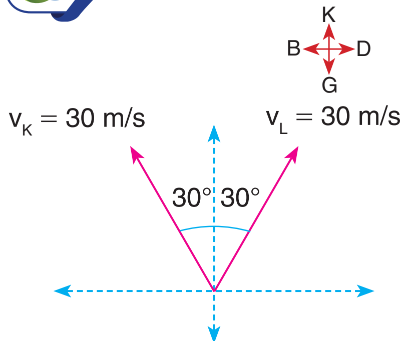
$\vec{v}_{ML} = \vec{v}_M - \vec{v}_L$ olur.

Bu bağıntı $\vec{v}_{ML} = \vec{v}_M + (-\vec{v}_L)$ şeklinde kullanılabilir. Bu durumda $\vec{v}_M$ ve $-\vec{v}_L$ vektörleri toplanırsa bağıl hız bulunur. Şekilde paralelkenar yöntemiyle toplama işlemi gösterilmiştir.

İki hız vektörü eşit büyüklükte ve aralarındaki açı 60° olduğu için bileşke vektör olan bağıl hız, $v_{ML} = 20\sqrt{3}$ m/s olur. Bu aynı zamanda $\vec{v}_L$ ve $\vec{v}_M$ vektörleri arasındaki açının açıortayı olduğu için doğu ekseni ile 30°lik, güney ekseni ile 60°lik açı yapacak yöndedir.



Sıra Sizde 1.12



Yere göre hızları $\vec{v}_K$, $\vec{v}_L$ olan K ve L araçları şekildeki yönlerde hareket etmektedir.

Buna göre

a) K aracının sürücüsü, L aracını,

b) L aracının sürücüsü, K aracını hangi hızla hangi yöne gidiyor gibi görür?



Sıra Sizde 1.13

Yere göre batıya doğru 20 m/s hızla hareket eden X aracının sürücüsü, Y aracını 20 m/s hızla kuzeye gidiyormuş gibi görüyor. Buna göre Y aracının yere göre hızını ve hareket yönünü bulunuz.

1.2.2. Hareketli Bir Ortamdaki Sabit Hızlı Cisimlerin Farklı Gözlem Çerçevelerine Göre Hareketi

Görsel 1.19'daki gezinti teknesi, nehir üzerinde hem motorunun kazandırdığı hızın hem de akıntı hızının etkisinde hareket eder. Kıyıda duran kişiler gemiye bakarken bu iki hareketin toplamını algılar. Bu durumda geminin yere göre hızı; kendi hızı ile akıntı hızının vektörel toplamı olur.



Görsel 1.19 *Nehirdeki gezinti teknesi, hem kendi motorunun hem de akıntının etkisinde bileşik hareket yapar.*

Görsel 1.20'deki rafting yapan sporcular nehrin akışı yönünde kürek çekerek ilerlerken aynı zamanda akıntı hızı ile sürüklenirler. Yavaşlamak için ise akıntıya ters yönde kürek çekmeleri gerekir.



Görsel 1.20 *Nehirde rafting yapan sporcular kürek çekerek akıntı yönünde ilerlerken akıntı etkisinde de sürüklenir.*

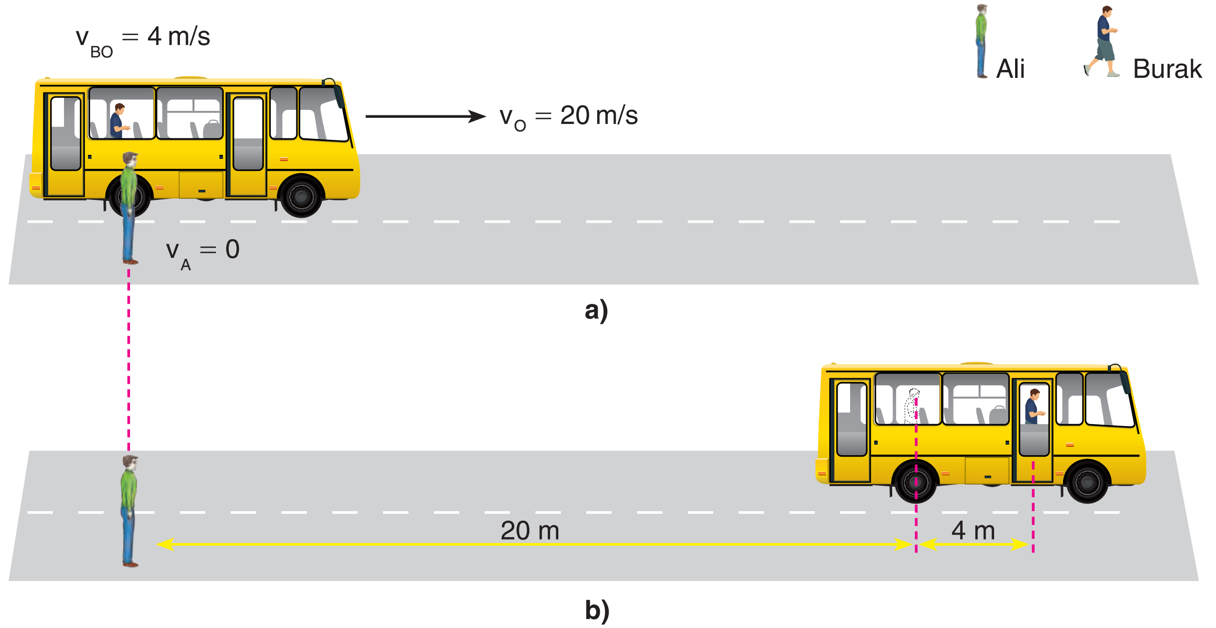
Görsel 1.21'deki gibi aynı doğrultuda hareket eden gemiler, nehirde hareket ederken aynı zamanda akıntının etkisinde kalır. Görsel 1.22'deki insanlar yürüyen merdivende hareket ederken aynı zamanda bulundukları ortam da hareket etmektedir. Aşağı inen ve yukarı çıkan insanlar aynı doğrultuda ve zıt yönlerde hareket etmektedir. Merdivende duran insanlar merdivenin hızı ile hareket ederken basamaklarda hareket eden insanlar ise merdivenin etkisi ile farklı bir hızda hareket eder.



Görsel 1.22 *Yürüyen merdivende duran insanlar merdivenle aynı hızda ilerlerken, basamakları çıkanlar merdivenin hareketi etkisinde hareket oluşturur.*



Görsel 1.21 *Nehir içinde hem motorun hem de akıntının etkisi ile bileşik hareket yapan gemiler, aynı zamanda birbirine göre bağıl hareket oluşturur.*



Şekil 1.18 a) *t = 0 anında hareketlilerin konum ve hızları* ***b)*** *t = 1 s anında hareketlilerin konumları*

Şekil 1.18.a'da Ali'nin, Burak'ın ve taşıtın (otobüs) t = 0 anındaki konumları ve hızları verilmiştir. Ali'nin yere göre hızı, $v_A = 0$, otobüsün yere göre hızı, $v_O = 20$ m/s ve Burak'ın taşıta (otobüs) göre hızı, $v_{BO} = 4$ m/s'dir. Burak'ın hareketi farklı gözlem çerçevelerinde bulunanlar için farklı algılanır.

Şekil 1.18.a'daki ve Şekil 1.18.b'deki konumlar incelenirse Ali'ye göre otobüsün ilk konumu, $x_o = 0$ m; 1 s sonraki konumu, $x_s = 20$ m olur. Ali'ye göre otobüsün hızı 20 m/s olur.

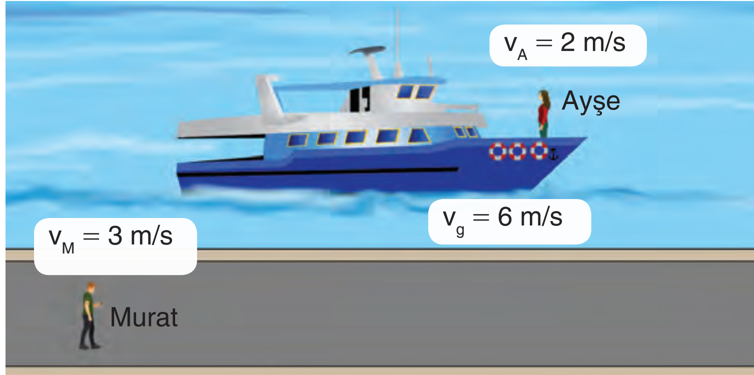
Ali'ye göre Burak'ın t = 0 anındaki ilk konumu $x_0 = 0$ m, son konumu $x_s = 24$ m'dir. Taşıta göre hızı 4 m/s olan Burak'ın hızı, Ali'ye göre 24 m/s olur. Yani Burak'ın Ali'ye göre hızı,

$\vec{v}_{BA} = \vec{v}_O + \vec{v}_{BO}$ olur.

$\vec{v}_{BA}$ Burak'ın Ali'ye göre hızıdır. Ali yere göre duruyor olduğu için Burak'ın Ali'ye göre hızı aynı zamanda yere göre hızıdır.

$\vec{v}_{BA}$ hızı vektörel toplama yapılarak elde edilmiş bir hızdır. Taşıt yere göre Burak ise taşıta göre hareketli olduğu için bu harekete "**bileşik hareket**", bulunan hıza ise "**bileşke hız**" denir.

ÖRNEK 13



Durgun denizin kıyısında bulunan Murat, yere göre 3 m/s hızla doğuya doğru gitmektedir. Kıyı yakınlarındaki gemi 6 m/s hızla doğuya doğru giderken gemide bulunan Ayşe ise gemiye göre 2 m/s hızla batıya doğru gitmektedir. Buna göre;

a) Ayşe'nin yere göre hızını ve yönünü,

b) Ayşe'nin Murat'a göre hızını ve yönünü bulunuz.

ÇÖZÜM

a) Ayşe yere göre bileşik hareket yapmaktadır. Gemi 6 m/s hızla doğuya giderken Ayşe gemiye göre 2 m/s hızla batıya gitmektedir. Bileşke hızı bu iki hızın vektörel toplamıdır.

$$\vec{v}_{\text{Ayşe'nin yere göre}} = \vec{v}_{\text{gemi}} + \vec{v}_{\text{Ayşe'nin gemiye göre}}$$

Gemi doğuya ve Ayşe batıya doğru gittiği için doğu yönü "+", batı yönü "–" kabul edilirse

$v_{\text{Ayşe'nin yere göre}} = (+6) + (-2) = +4$ m/s olur.

Ayşe'nin yere göre hızı +4 m/s bulunur.

b) Murat'ın yere göre hızı +3 m/s, Ayşe'nin yere göre hızı ise +4 m/s'dir. Bu durumda her ikisinin de hızları aynı referans noktasına göre tanımlandığı için

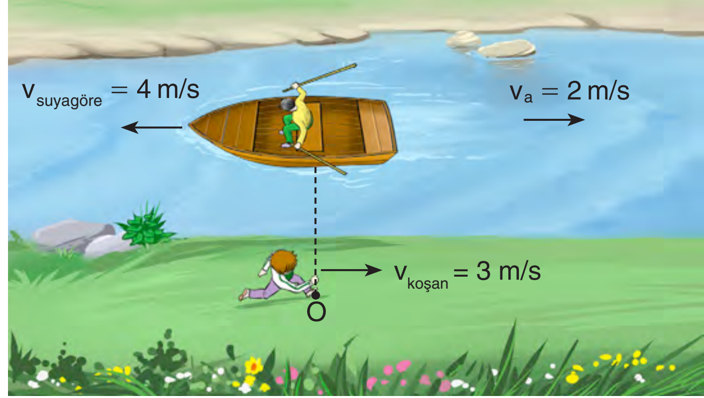
$$\vec{v}_{\text{bağıl}} = \vec{v}_{\text{Ayşe'nin yere göre}} - \vec{v}_{\text{Murat'ın yere göre}}$$

$v_{\text{bağıl}} = (+4) - (+3) = +1$ m/s bulunur.

Ayşe'nin Murat'a göre hızı doğuya doğru 1 m/s'dir.



Sıra Sizde 1.14



Akıntı hızının (v_a) sabit ve 2 m/s olduğu nehirde akıntıya ters yönde giden kayığın suya göre hızı ($v_{suyagöre}$) 4 m/s'dir. Kıyı yakınlarında nehirle aynı yönde ve nehre paralel koşan kişinin hızı ($v_{koşan}$) 3 m/s'dir.

a) Kayıkçı, koşan kişinin hızını ve hareket yönünü nasıl algılar?

b) t = 0 anında kayıkçı ile koşan kişi şekildeki konumda olduklarına göre t = 4 s anında aralarındaki yatay uzaklık kaç metre olur?

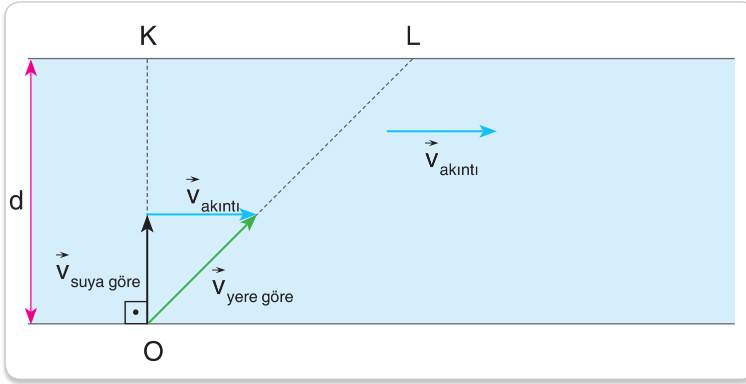


Görsel 1.23 *Nehirdeki gemi ve köprüdeki arabaların birbirine göre bağıl hızlarında nehrin akıntı hızı da etkilidir.*



Görsel 1.24 *Göldeki sandal ve ördekler suya göre hareket ederken aynı zamanda akıntı etkisindedir.*

Görsel 1.23'teki gemi hem kendi motorunun hem de akıntının etkisi ile bileşik hareket oluştururken köprü üzerindeki araçlara dik doğrultuda hareket etmektedir. Görsel 1.24'teki sandal ve ördekler göldeki akıntı etkisinde hareket etmektedir.



Şekil 1.19 *Sabit hızla akan nehre O noktasından giren yüzücü, karşı kıyıda L noktasına çıkar.*

Şekil 1.19'daki gibi genişliği her yerinde aynı olan ve sabit hızla akan nehre, O noktasından dik olarak suya göre $\vec{v}_{suya\ göre}$ hızı ile giren yüzücü OK doğrultusunda hareket edip K noktasında karşı kıyıya ulaşmak isterken akıntı nedeniyle sürüklenerek OL yolunu takip eder ve L noktasında karşı kıyıya çıkar. Yüzücü hareketli bir ortamda hareket ettiği için yere göre bileşik hareket yapar. Yere göre bileşke hızı ise

$\vec{v}_{yere\ göre} = \vec{v}_{suya\ göre} + \vec{v}_{akıntı}$ olur.

Bileşke hızın büyüklüğü ise vektörlerdeki bileşkenin büyüklüğü ile aynı yöntemlerle bulunur. Şekil 1.19'daki vektörler birbirine dik olduğu için

$v^2_{yere\ göre} = v^2_{suya\ göre} + v^2_{akıntı}$ ile bulunur.

Yerden bakan bir gözlemci, yüzücünün bileşke hızın yönü olan OL yolu boyunca yüzdüğünü görür. Hedef olan K noktası ile varılan L noktası arasındaki uzaklık, nehrin yüzücüyü sürüklemesinden kaynaklandığı için bu mesafeye "**sürüklenme miktarı**" denir. Yüzücü hem nehre dik hem de paralel olmak üzere her iki yönde de yer değiştirmektedir.

Bileşke hızın nehre dik bileşeninin büyüklüğü $v_{suya\ göre}$ olup karşı kıyıya ulaşmasını bu hız sağlar. Yüzücü bu hızla nehrin genişliği olan d yolunu, $t_{geçiş}$ sürede alacağından

$d = v_{suya\ göre} \cdot t_{geçiş}$ olur.

Bileşke hızın nehre paralel bileşeninin büyüklüğü $v_{akıntı}$ ya eşit olup bu hız K noktası yerine L noktasından çıkmasına sebep olur. Sürüklenme miktarı $|KL| = v_{akıntı} \cdot t_{geçiş}$ ile bulunabilir.



Sıra Sizde 1.15

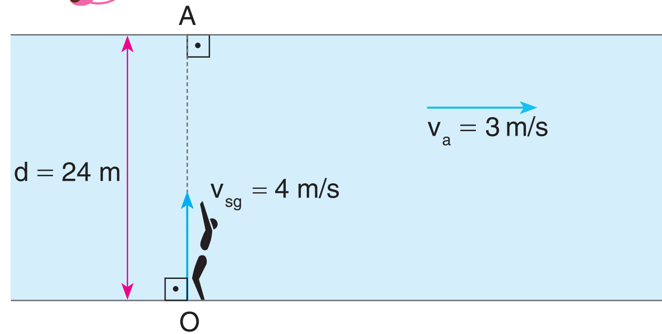

a)


b)

a) Görseldeki motorlu teknenin bileşik hareketine neden olan etkileri

b) Yelkenli teknenin bileşik hareketine neden olan etkileri tartışınız.

ÖRNEK 14



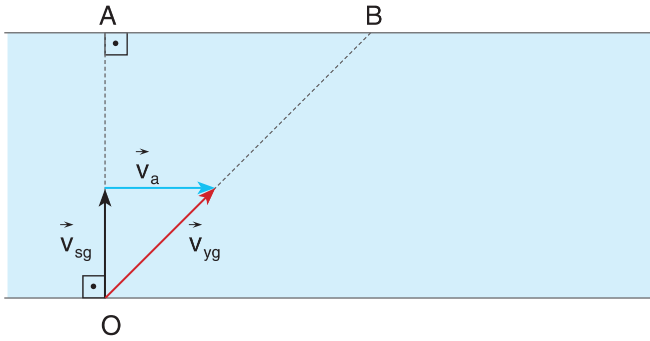
Genişliği ve akıntı hızı her yerinde aynı olan nehre O noktasından dik olarak giren yüzücü bir süre sonra karşı kıyıya çıkıyor. Akıntı hızı $(\vec{v}_a)$ 3 m/s, nehrin genişliği 24 m ve yüzücünün suya göre hızı $(\vec{v}_{sg})$ 4 m/s ise yüzücünün

a) Yere göre hızını $(\vec{v}_{yg})$,

b) Karşıya geçiş süresini,

c) Karşı kıyıya çıktığında A noktasına olan uzaklığını bulunuz.

ÇÖZÜM



a) $\vec{v}_{yg} = \vec{v}_{sg} + \vec{v}_a$

$v_{yg}^2 = v_{sg}^2 + v_a^2$

$v_{yg}^2 = 3^2 + 4^2 = 25$

$v_{yg} = 5$ m/s olur.

b) $d = v_{sg} \cdot t_{geçiş}$ (v_{sg}, nehre dik olduğu için)

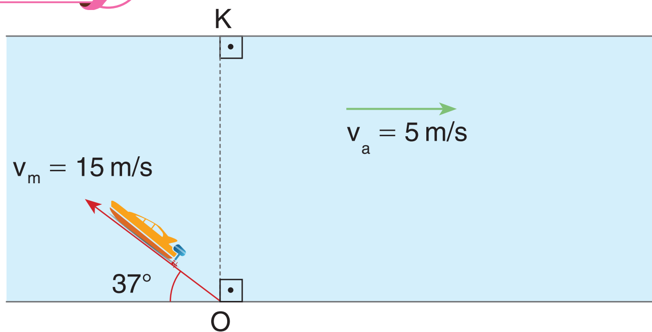
$24 = 4 \cdot t_{geçiş}$ ise $t_{geçiş} = 6$ s olur.

c) Karşı kıyıya, $\vec{v}_{yg}$ hızının doğrultusundaki B noktasından çıkar. $t_{geçiş}$ süresi boyunca v_a büyüklüğündeki hız ile sürükleneceği için sürüklenme miktarı,

$|AB| = v_a \cdot t_{geçiş}$

$|AB| = 3 \cdot 6 = 18$ m olur.

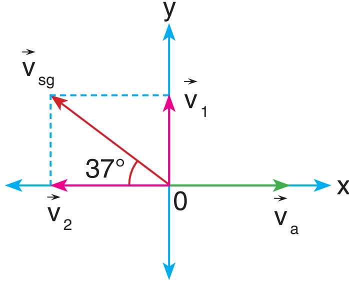
ÖRNEK 15



Suya göre hızı 15 m/s olan motorlu tekne O noktasından şekildeki gibi suya giriyor. Karşı kıyıya 8 s sonra geçtiğine göre;

a) Nehrin genişliğini,

b) Karşı kıyıya K noktasından kaç m uzaklıkta çıktığını bulunuz (Akıntı hızı ve nehrin genişliği her yerde aynıdır. $\sin 37° = 0,6;\ \cos 37° = 0,8$).



ÇÖZÜM

Problemin çözümü için öncelikle bileşke hız vektörünün bileşenleri bulunur. Bunun için suya göre hız ve akıntı vektörleri x–y koordinat düzlemine yerleştirilir. Orijin noktası olarak harekete başlanan O noktası alınır.

Suya göre hız vektörünün nehre dik bileşeni,

$v_1 = 15 \cdot \sin37° = 15 \cdot 0{,}6 = 9$ m/s bulunur.

Suya göre hız vektörünün nehre paralel bileşeni,

$v_2 = 15 \cdot \cos37° = 15 \cdot 0{,}8 = 12$ m/s bulunur.

Bileşke hızın nehre dik bileşeni (y ekseni üzerindeki),

$v_y = v_1 = 9$ m/s olur.

Bileşke hızın nehre paralel bileşeni (x ekseni üzerindeki),

$\vec{v}_x = \vec{v}_2 + \vec{v}_a = 12 - 5 = 7$ m/s (–x yönünde) olur.

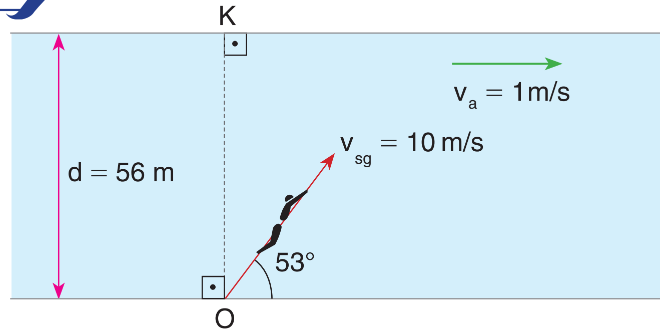
a) Nehrin genişliği $d = v_y \cdot t_{geçiş} = 9 \cdot 8 = 72$ m

b) Karşıya çıktığı noktanın K noktasına uzaklığı,

$v_x \cdot t_{geçiş} = 7 \cdot 8 = 56$ m, –x yönünde hareket ettiği için K noktasının sol tarafında olur.



Sıra Sizde 1.16



Suya göre hızı 10 m/s olan bir yüzücü, O noktasından akıntı hızının sabit ve 1 m/s olduğu nehre şekildeki gibi giriyor. Nehrin genişliği 56 m olduğuna göre yüzücünün

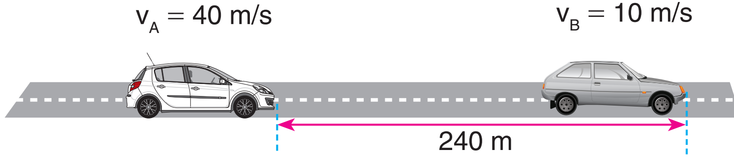
a) Karşıya geçme süresini

b) Karşı kıyıya çıktığında K noktasına olan uzaklığını bulunuz.

(Akıntı hızı ve nehrin genişliği her yerde aynıdır. $\sin 53° = 0{,}8$; $\cos 53° = 0{,}6$)

1.2.3. Bağıl Hareket ile İlgili Hesaplamalar

ÖRNEK 16



t = 0 anında konumları ve hızları şekilde belirtilen araçlar, sabit hızlarla hareket etmektedir. Buna göre araçlar kaç saniye sonra yan yana gelir?

ÇÖZÜM

A aracının B aracına göre bağıl hızı

$\vec{v}_{AB} = \vec{v}_A - \vec{v}_B$

$v_{AB} = 40 - 10$

$v_{AB} = 30$ m/s olur.

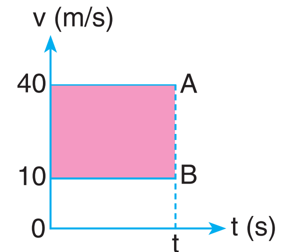
A aracının B aracına yetişebilmesi için fazladan alması gereken yol 240 m'dir.

$x = v_{bağıl} \cdot t$ bağıntısından

$240 = 30 \cdot t$

$t = 8$ s bulunur.

Aynı soruyu 9. sınıfta öğrendiğimiz "Hız-zaman grafiğinin altında kalan alan yer değiştirmeyi verir." bilgisini kullanarak çözelim. Hareketlilerin hız-zaman grafiklerini çizelim.



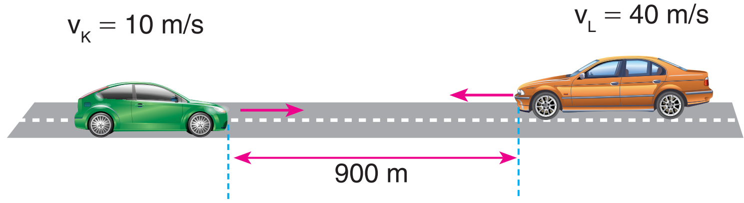
A aracının B aracına yetişmesi için fazladan alması gereken yol, grafikteki taralı alan kadar olmalıdır. Grafikteki taralı alan

$(40-10) \cdot t = 240$

$30 \cdot t = 240$

$t = 8$ s bulunur.

ÖRNEK 17



t = 0 anında konumları ve hızları şekilde belirtilen araçlar arasındaki uzaklık 900 m olup araçlar sabit hızlarla hareket etmektedir. Buna göre araçlar kaç saniye sonra yan yana gelir?

ÇÖZÜM

K ve L araçlarının birbirine göre hızlarının büyüklüğü

$\vec{v}_{bağıl} = \vec{v}_{KL} = \vec{v}_K - \vec{v}_L$ olur. Araçlar aynı doğrultu ve zıt yönde hareket ettiklerinden

$\vec{v}_{KL} = \vec{v}_K - \vec{v}_L = +10 - (-40)$

$v_{KL} = 50$ m/s olur.

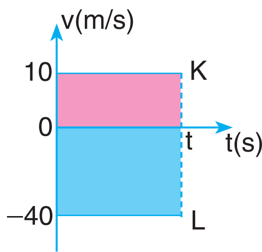
İki aracın yan yana gelmeleri için almaları gereken toplam yol 900 m olduğundan

$x = v_{bağıl} \cdot t$

$900 = 50 \cdot t$

$t = 18$ s bulunur.

Bir önceki örnekte olduğu gibi grafik kullanarak çözüm yapalım.



Araçların yan yana gelmeleri için K aracının alması gereken yol $10 \cdot t$ ve L aracınının alması gereken yol $40 \cdot t$ kadar olur.

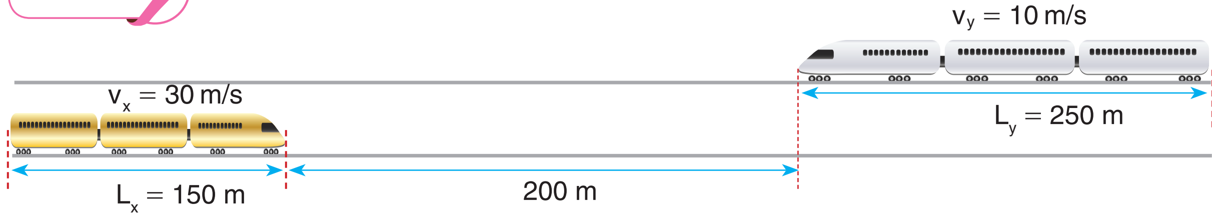
Buna göre;

$10 \cdot t + 40 \cdot t = 900$

$50 \cdot t = 900$

$t = 18$ s bulunur.

ÖRNEK 18



Birbirine paralel raylar üzerinde zıt yönlerde hareket eden X ve Y trenlerinin herhangi bir andaki konumu şekildeki gibidir. Sabit hızlarla hareket eden X ve Y trenlerinin sırasıyla hızlarının büyüklüğü 30 m/s ve 10 m/s; uzunlukları ise 150 m ve 250 m'dir. Trenlerin bu konumdan itibaren birbirini tamamen geçmesi için geçen süreyi bulunuz.

ÇÖZÜM

X treninin hızı $v_x = 30$ m/s, uzunluğu $L_x = 150$ m

Y treninin hızı $v_y = 10$ m/s, uzunluğu $L_y = 250$ m'dir.

Bu iki trenin birbirine göre hızlarının büyüklüğü

$\vec{v}_{bağıl} = \vec{v}_{xy} = \vec{v}_x - \vec{v}_y$

$v_{xy} = 30 - (-10) = 40$ m/s'dir.

Trenlerin birbirini tamamen geçmesi için almaları gereken toplam yol

$x = L_x + L_y + 200 = 150 + 250 + 200 = 600$ m'dir.

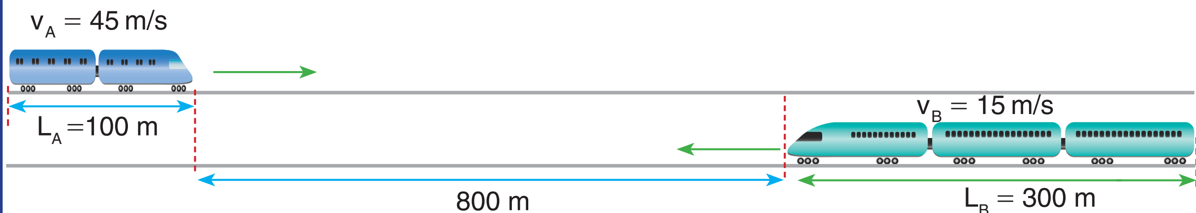
$x = v_{xy} \cdot t$

$600 = 40 \cdot t$ ise $t = 15$ s bulunur.



Sıra Sizde 1.17

Birbirine paralel raylarda t=0 anında konumları şekildeki gibi olan, sabit hızlarla hareket eden A ve B trenlerinin sırasıyla hızları 45 m/s ve 15 m/s; uzunlukları ise 100 m ve 300 m'dir. Trenlerin birbirini tamamen geçmesi için gereken süreyi bulunuz.





1. ÜNİTE: 2. BÖLÜM DEĞERLENDİRME SORULARI

A. Aşağıdaki cümlelerde boş bırakılan yerleri uygun kelimeleri kullanarak tamamlayınız.

gözlemci | bağıl hareket | bağıl hız | bileşik hız

gözlenen | göreli | referans noktası | bileşik hareket

1. Bir hareketlinin başka bir hareketliye göre hareketine .... denir.
2. K aracının L aracına göre hızı tanımlanmak istenirse K aracı ...., L aracı .... olur.
3. Bir hareketlinin başka bir hareketliye göre hızına .... denir.
4. Rüzgârlı havada hareket eden uçağın, hem kendi hareketinden hem de rüzgârın etkisinden dolayı sahip olduğu hıza .... denir.
5. Evrende mutlak duran bir yer olmadığından hareketin .... olduğu söylenir.
6. Bir hareketi tanımlamak için duruyor kabul edilen yer veya sisteme .... denir.

B. Aşağıdaki cümlelerin başına doğru ise "D", yanlış ise "Y" yazınız.

1. ( ) Aynı doğrultuda ve aynı yönde hareket eden araçların bağıl hızlarının büyüklüğü, araçların hızlarının büyüklükleri farkına eşit olur.

2. ( ) Aynı doğrultuda, zıt yönlerde hareket eden araçlar birbirlerini olduğundan daha yavaş görür.

3. ( ) Günlük hayatta hareketimizi tanımlarken referans sistemi olarak Dünya'yı seçeriz.

4. ( ) Referans noktası olarak neresi seçilirse seçilsin, cismin hareket yönü ve hızı hep aynı ölçülür.

5. ( ) Bizden uzaklaşan gemide hareket eden birinin, bize yaklaştığını algılayabiliriz.

6. ( ) Birbirinin hareketini bulundukları gözlem çerçevesine göre değerlendiren iki hareketlinin, algıladıkları hızların büyüklüğü birbirinden farklı olabilir.

C. Aşağıdaki soruları cevaplayınız.

1. Dünya Güneş'in etrafında döndüğü hâlde, neden Güneş'in Dünya etrafında döndüğünü algılarız?
2. Bağıl ve bileşik harekete, günlük olaylardan örnekler veriniz.
3. Bir cismin hareketi diğer tüm hareketliler için aynı şekilde tanımlanabilir mi? Neden?
4. Bir nehirde karşıya geçmek isteyen motorlu teknenin

   a) Karşıya geçme süresinin,

   b) Yere göre hızının,

   c) Sürüklenme miktarının nelere bağlı olduğunu açıklayınız.
5. Açık havada yapılan spor müsabakalarında, rüzgâr sonuçları etkileyebilir mi? Nasıl?

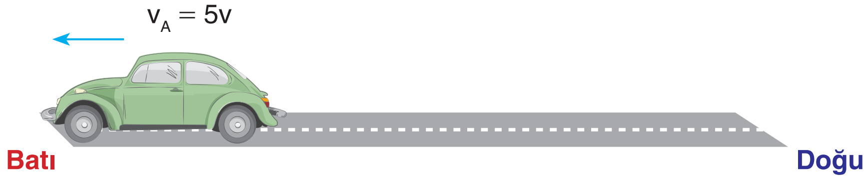
Ç. Aşağıdaki problemleri çözünüz.

1.



Aynı doğrultuda ve aynı yönde sabit hızlarla hareket eden X ve Y araçlarının sürücüleri, birbirlerini hangi yönde ve hangi hızla gidiyor gibi görürler?

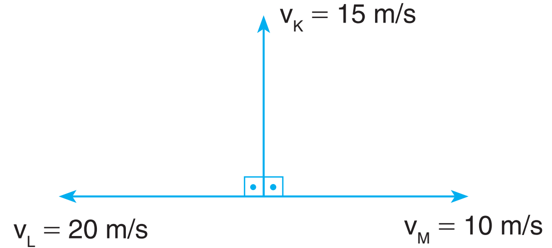
2.



Aynı doğrultuda hareket eden araçlardan A aracı batıya doğru 5v hızla giderken B aracını doğuya doğru 3v hızı ile gidiyor gibi görüyor. Buna göre B aracının yere göre hızının büyüklüğü ve yönü nedir?

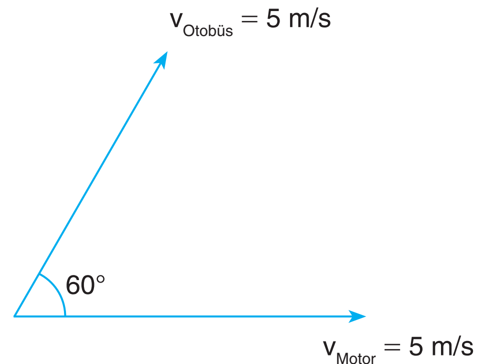
3. Kuzeye doğru 20 m/s hızla giden X aracının sürücüsü, Y aracını doğuya doğru 20 m/s hızla gidiyor gibi görüyor. Buna göre Y aracının hızı kaç m/s'dir?

4. L aracının sürücüsü M aracını $\vec{v}_1$, K aracını $\vec{v}_2$ hızı ile gidiyor gibi görüyor. $\frac{v_1}{v_2}$ oranını bulunuz.



5. Hız vektörleri verilen araçların birbirine göre bağıl hızlarının büyüklüğünü bulunuz.

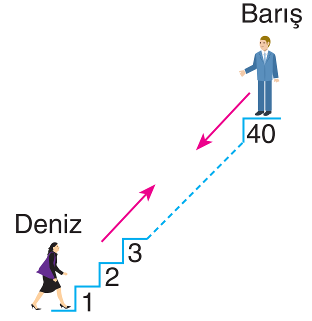
$\left(\cos 60° = \frac{1}{2}; \cos 30° = \frac{\sqrt{3}}{2}\right)$



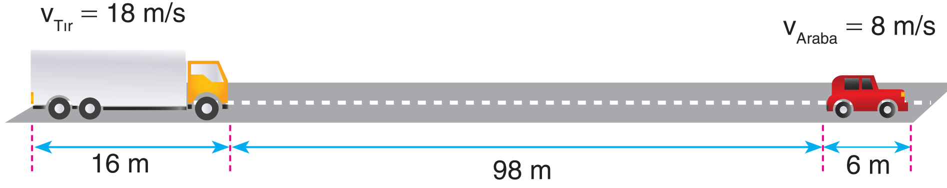
6. Saniyede 2 basamak yükselen yürüyen merdiven 40 basamak uzunluğundadır. Merdivene göre hızı 1 basamak/s olan Deniz ile, hızı 4 basamak/s olan Barış aynı anda şekildeki yönlerde hareket ediyorlar.

a) Kaç s sonra buluşurlar?

b) Buluştuklarında kaçıncı basamakta olurlar?



7.

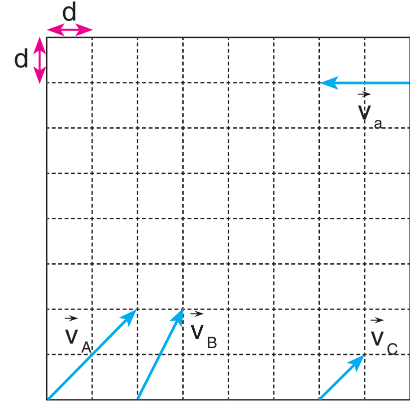


Şekilde uzunlukları ve hızları belirtilen araçların t = 0 anındaki konumları görülmektedir. Tırın arabayı tamamen geçmesi için geçen süreyi bulunuz.

8. Akıntı hızının sabit olduğu şekildeki nehirde hareket eden yüzücülerden A ve C'nin suya göre B'nin ise yere göre hız vektörleri şekildeki gibidir.

a) Karşıya geçme sürelerini karşılaştırınız.

b) Karşıya çıktıklarında aralarındaki uzaklıkları d cinsinden bulunuz.



D. Aşağıdaki test sorularını çözünüz.

1. Tren yoluna paralel bir yolda ve trenle aynı yönde 7 m/s hızla koşan Berke, 15 m/s hızla ilerleyen trendeki, trene göre 2 m/s hızla geriye doğru giden yolcunun hızını kaç m/s olarak algılar?

A) 1 **B)** 6 **C)** 9 **D)** 22 **E)** 24

2. Rüzgâr hızının sabit 50 km/h olduğu havada, hızı rüzgâra göre 550 km/h olan uçak 1800 km uzaklıktaki şehre gidip geri dönüyor. Uçağın gidiş dönüş yolculuğu toplam kaç saat sürer? (Uçak giderken rüzgarla aynı, dönerken rüzgara zıt yönde hareket etmektedir.)

A) 4 **B)** 6 **C)** 6,6 **D)** 7,2 **E)** 8

1.3. NEWTON'IN HAREKET YASALARI

Bu bölümde;

- Bir cisme etki eden kuvvetleri serbest cisim diyagramı üzerinde gösterip net kuvvetin büyüklüğünü hesaplamayı,
- Net kuvvet etkisindeki cismin hareketini örneklerle açıklayıp günlük hayatla ilgili problemler çözmeyi,
- Sürtünmeli yüzeylerde hareket eden cisimlerin hareketini analiz etmeyi öğreneceğiz.

Kavramlar

- Serbest cisim diyagramı
- Eylemsizlik
- Etki kuvveti
- Tepki kuvveti

BİLİM İNSANLARI VE İLHAM

Isaac Newton (Ayzek Nivtın) ve ağaçtan düşen elma ile ilgili hikâyeyi hepimiz duymuşuzdur. Hikâyeye göre, Görsel 1.25'teki gibi Newton bir gün ağaçtan bir elmanın düşmesini gözlemlemiş ve elmanın neden sağa, sola, yukarı veya farklı bir yöne doğru değil de yere doğru düştüğünü düşünerek yer çekimi kanununu bulmuştur. Tabi ki yer çekimi kanunu sadece bir elmaya bakılarak bulunulabilecek kadar basit bir kanun değildir. Bilim insanları, yaptıkları birçok araştırmadan sonra bir takım bilgilere sahip olurlar ve bu bilgilerin ışığında keşifler, icatlar yapabilirler. Onlara ilham kaynağı olan bu tür olaylar bilinmeyeni çözmek için bir anlık yanan bir ampul olabilir ancak…

Bilim insanları karşılaştıkları olaylara sorgulayıcı ve analiz edici yaklaşır. Olayların nedenlerini ve sonuçlarını araştırır, önceki araştırmaları inceler ve bu veriler üzerinde çalışır. Bilim insanlarının bu çalışma yöntemleri, bilimin ve teknolojinin hızla gelişmesini sağlamıştır.



Görsel 1.25 *Newton söylemeden önce de yer çekimi vardı. Fakat Newton, çeşitli gözlemler ve deneylerle yer çekimini kanun olarak açıklamayı başardı.*



Görsel 1.26 *Topu kaleye atabilmek için kuvvet uygulamak gerekir.*



Görsel 1.27 *Roketin yer çekimi etkisinden kurtularak uzaya çıkabilmesi için gerekli şartlar vardır.*



Görsel 1.28 *Lunaparktaki oyuncakların farklı hareketleri ve ivmeleri korkuyla karışık heyecanlanmanıza neden olur.*

1.3.1. Net Kuvvet

Günlük hayatımızda pek çok olay Newton Hareket Kanunları ile açıklanmaktadır. Bir elmanın ağaçtan düşmesi, futbol oynarken topu kaleye kadar atabilmemiz (Görsel 1.26), bir roketin atmosferden çıkarak uzaya kadar gidebilmesi (Görsel 1.27), lunaparktaki birçok oyuncağın hareketi (Görsel 1.28), hatta başımızı bir yere çarptığımızda canımızın yanması (Görsel 1.29) bile bu kanunlarla açıklanabilir.

9. sınıfta bir cisme aynı anda birden fazla kuvvetin yaptığı toplam etkinin net kuvvet olduğunu öğrenmiştiniz. Serbest cisim diyagramı, sistemde hareketi incelenecek cismin üzerine etki eden tüm kuvvetlerin analiz edildiği çizimdir. Cisim, modelleme kullanılarak etrafındaki tüm cisimlerden ayrı olarak tek başına ele alınır. Çizim esnasında ilgilenilen cisme uygulanan tüm kuvvetlerin gösterilmesine ve kuvvetlere uygun koordinat sisteminin seçilmesine dikkat edilmelidir. Bir cisme etki eden net kuvveti bulmak için cisme etki eden kuvvetler serbest cisim diyagramı üzerinde gösterilip bu kuvvetlerin bileşkesi hesaplanır.



Görsel 1.29 *Başınızı bir yere çarptığınızda yaptığınız etki kuvvetine karşı aldığınız tepki kuvveti canınızı yakar.*

Şekil 1.20'de 2 kg kütleli bir cisme sürtünmesiz bir ortamda etki eden kuvvetler üç farklı durumda $g = 10\ m/s^2$ alınarak incelenmiş ve net kuvvetler hesaplanmıştır.

2 kg $\vec{G} = m \cdot \vec{g}$ $G = 2 \cdot 10 = 20\ N$	$N = 20\ N$ $G = 20\ N$	$N = G = 20\ N$	$F_{net} = 0$
$F_2 = 5\ N$ $F_1 = 10\ N$ 2 kg	$N = 20\ N$ 5 N 10 N $G = 20\ N$	$N = G = 20\ N$ $10 - 5 = 5\ N$	$F_{net} = 5\ N$
$F_1 = 10\ N$ $F_2 = 20\ N$ 37° 2 kg $\vec{F}_y$ $F_1 = 10\ N$ $\vec{F}_x$ $F_x = F_1 \cdot \cos 37°$ $F_x = 10 \cdot 0,8 = 8\ N$ $F_y = F_1 \cdot \sin 37°$ $F_y = 10 \cdot 0,6 = 6\ N$	$N = 14\ N$ 6 N 20 N 8 N $G = 20\ N$ $G = N + 6$ $20 = N + 6$ $N = 14\ N$	$G = N + 6$ $20 - 8 = 12\ N$	$F_{net} = 12\ N$

Şekil 1.20 *Serbest cisim diyagramı kullanılarak cisme etki eden net kuvvetin bulunması*



Sıra Sizde 1.18

Yerde duran bir basketbol topuna ve daldaki elmaya etki eden kuvvetler nelerdir?






Görsel 1.30 *Newton denge topları*


Görsel 1.31 *Dağa tırmanan sporcu*


Görsel 1.32 *Yokuşta, aşağı yönde hızlanan kaykaylı gençler*


Görsel 1.33 *Çarpışan oyuncak arabalardaki maketler eylemsizlik nedeniyle arabalarından fırlar.*

Net kuvvet etkisindeki cisimlerin hareketlerinin Newton Hareket Kanunları ile açıklandığını biliyorsunuz. Bu kanunlarla günlük hayatımızda karşılaştığımız Görsel 1.30'daki Newton denge toplarının, Görsel 1.31'deki tırmanan sporcunun, Görsel 1.32'deki aşağı yönde hızlanan kaykaycıların hareketi gibi pek çok hareketi açıklayabiliriz.

Cisme uygulanan kuvvetler dengelendiğinde yani net kuvvet sıfır olduğunda cisim duruyorsa durmaya, hareket hâlinde ise sabit hızla hareket etmeye devam eder. Buna **eylemsizlik** denildiğini anımsayınız.

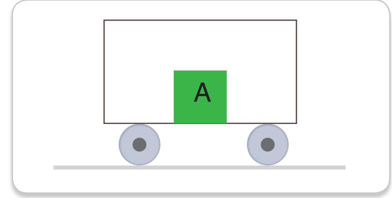
Duran bir aracın içindeyken araç hızlanmaya başladığında vücudumuz geriye doğru gider. Bunu biz istemsiz olarak yaparız. O anda bir kuvvetin vücudumuza etki ettiğini hissederiz. Bu hissettiğimiz kuvvet, eylemsizlik kuvvetidir. Vücudumuz durgun hâlini korumak için arkaya doğru gider. Yine sabit hızla giden bir aracın içindeyken araç aniden fren yaparak yavaşladığında da öne doğru gideriz. Her iki hareket de ivmeli harekettir. Hız değişimleri sırasında görülen ve cisim üzerinde etkili olan bu kuvvete "**eylemsizlik kuvveti**" denir. Eylemsizlik kuvvetinin etkisi her zaman ivmeyle zıt yönlüdür.

Görsel 1.33'te farklı yönlerde giden oyuncak arabalar çarpıştıklarında içlerindeki maketler, gittikleri yöne doğru eylemsizliğin etkisiyle fırlar. Bu sebeple emniyet kemeri güvenlik açısından çok önemlidir. Yine bu amaçla araçlara, aracın darbe alması durumunda otomatik olarak açılan hava yastıkları konulmaktadır (Görsel 1.34).

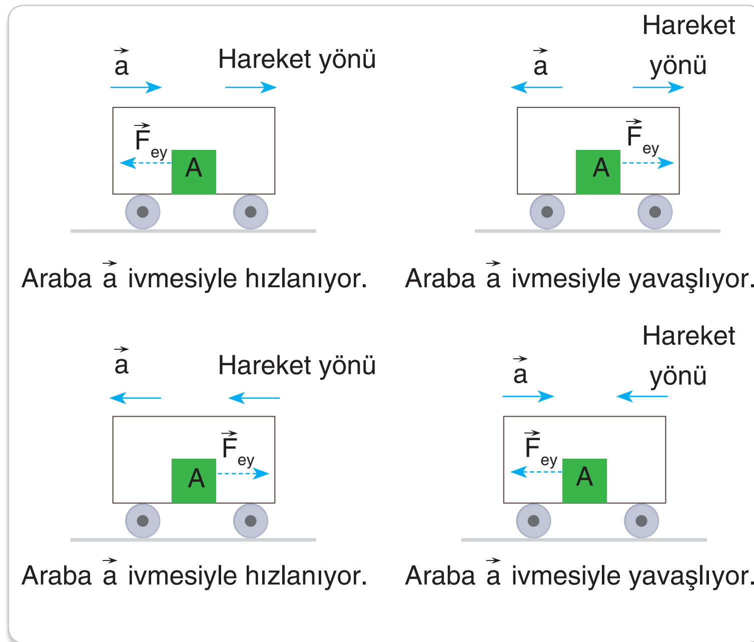

Görsel 1.34 *Çarpışma anında şişen hava yastığı eylemsizlik nedeniyle oluşan çarpmalara karşı vücudumuzu korur.*

Şekil 1.21'de içinde A cismi bulunan bir deney arabası görülmektedir. Araba dururken veya sabit hızla giderken ivmeli hareket yapmadığı için A cismine eylemsizlik kuvveti etki etmez. Arabanın ivmeli hareket etmesi hâlinde A cismi bulunduğu durumu korumak ister. Bu sırada cisim üzerinde her zaman ivmeyle zıt yönde olacak şekilde bir eylemsizlik kuvveti meydana gelir. Eylemsizlik kuvvetinin, sürtünmeyi yenmesi hâlinde cisim hareket eder. Cismin bu hareketini Şekil 1.22'de $\vec{F}_{ey}$ ile gösterilen eylemsizlik kuvveti sağlar. Arabanın hareket yönü, üzerindeki ok işaretiyle tanımlanmıştır.

Şekil 1.22'de deney arabasının farklı hareket durumlarında, A cismine etki eden eylemsizlik kuvveti incelenmiştir.



Şekil 1.21 *Deney arabası farklı yönlerde ivmeli hareket yaptığında, cismin üzerinde ivmeye zıt yönlü bir eylemsizlik kuvveti oluşur.*



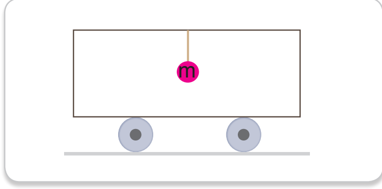
Şekil 1.22 *Deney arabası farklı yönlerde ivmeli hareket ederken A cismine etki eden eylemsizlik kuvveti ivmeye zıt yönlüdür.* $\vec{F}_{ey}$ *kuvveti cisme etki eden eylemsizlik kuvvetini göstermektedir.*

Şekil 1.23'te deney arabasının tavanına asılı m kütleli bir cisim bulunmaktadır. Bu durumda cisme yer çekimi kuvveti $(\vec{G})$, eylemsizlik kuvveti $(\vec{F}_{ey})$ ve ipteki gerilme kuvveti $(\vec{T})$ etki eder. Cisim bu üç kuvvet etkisinde dengededir ve arabaya göre hareketsizdir. Deney arabasının farklı hareket durumlarında tavana asılı cisim, eylemsizlik kuvveti ve ağırlığının etkisi ile yeni denge konumuna gelene kadar hareket eder. (Şekil 1.24)

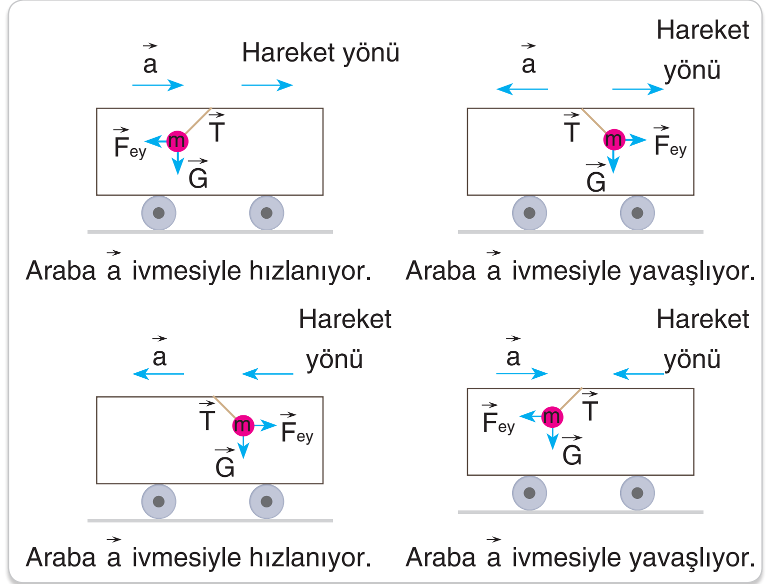
Biliyor musunuz?



Hava yastıkları 1980'lerin ortalarında otomobillerde kullanılmaya başlanmıştır. Hava yastıkları kafa ve boyun yaralanmalarının azaltılması, emniyet kemerine yardımcı olması için tasarlanmış bir sistemdir. Hava yastıkları çarpışmaların yarısını oluşturan önden çarpmalarda etkilidir. Ölüm oranı yalnızca hava yastıklarının kullanıldığı durumlarda önden çarpmalarda %22-29, tüm çarpmalarda %8-14 arasında azalmaktadır. Hava yastığının emniyet kemeri ile birlikte kullanımı durumunda, önden çarpmalı trafik kazalarında yaralanma riski %68 azalmaktadır. Hava yastıklarının emniyet kemeri ile kullanımı sonucu ciddi kafa travmalarının %81 oranında azaldığı tahmin edilmektedir.



Şekil 1.23 Deney arabası dururken veya sabit hızla giderken eylemsizlik kuvveti oluşmayacağı için ip düşey doğrultuda kalacak şekilde denge oluşur.



Şekil 1.24 *Deney arabasının tavanına iple bağlı cisim, üzerinde oluşan eylemsizlik kuvveti nedeniyle farklı konumlarda dengeye gelir.* $\vec{F}_{ey}$ *cisme etki eden eylemsizlik kuvvetini,* $\vec{G}$ *cismin ağırlığını ve* $\vec{T}$ *ipteki gerilme kuvvetini göstermektedir.*

1.3.2. Net Kuvvetin Etkisindeki Cismin Hareketi ile İlgili Hesaplamalar

Dengelenmemiş kuvvetlerin etkisindeki bir cisim, net kuvvetle aynı yönde ivme kazanır. Yani net kuvvet, sıfır değilse cisim her zaman ivmeli hareket yapar.

- Cisim duruyorsa hızlanır.
- Cisim hareket hâlinde ve uygulanan net kuvvet cismin hareketiyle aynı yönlü ise hızlanır.
- Cisim hareket hâlinde ve uygulanan net kuvvet cismin hareketiyle zıt yönlü ise yavaşlar. Bu durum devam ederse cisim bir süre sonra durur ve net kuvvetin yönünde hızlanmaya başlar.

Cismin ivmesiyle kütlesinin çarpımı cisme etki eden net kuvvete eşittir. Bu kanunun formülleştirilmiş şeklini daha önceki yıllarda öğrenmiştiniz.

SI Uluslararası birim sisteminde; kuvvetin birimi newton (N), kütlenin birimi kilogram (kg) ve ivmenin birimi N/kg'dır.

$$\vec{F}_{net} = m \cdot \vec{a}$$

9. sınıfta Newton Hareket Kanunları ile ilgili uygulamalarda, tek bir cisme etki eden net kuvvet ve bu cismin hareketi incelenmişti. Bu kanun tek bir cisim için geçerli olabildiği gibi iki veya daha fazla cisimden oluşan sistemler için de geçerlidir. Sistemlerle ilgili uygulamalar yapılırken

- Sisteme etki eden net kuvvet,
- Sistemdeki toplam kütle dikkate alınır.

Aşağıdaki uygulamalarda bazı sistemler incelenmiştir.



Uygulama 1



Şekildeki gibi birbirine iple bağlı K ve L cisimlerinden oluşan sistem, sürtünmesiz düzlemde $\vec{F}$ kuvvetiyle çekilmektedir. Birbirine iple bağlı cisimler aynı ivme ile birlikte hareket eder. Sistem için

$\vec{F}_{net} = \Sigma m \cdot \vec{a}$ $\qquad$ $F = (m_K + m_L) \cdot a$ yazılır.



Uygulama 2

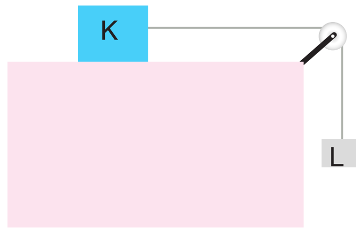


Şekildeki gibi K ve L cisimlerinden oluşan sistem, sürtünmesiz düzlemde $\vec{F}$ kuvvetiyle itilmektedir. Birbirine temas eden cisimler aynı ivme ile birlikte hareket eder. Sistem için

$\vec{F}_{net} = \Sigma m \cdot \vec{a}$ $\qquad$ $F = (m_K + m_L) \cdot a$ yazılır.



Uygulama 3



Şekildeki sürtünmesiz sistem K ve L cisimleri ile bir makaradan oluşmaktadır. Bu sistemi harekete geçiren kuvvet L cisminin ağırlığıdır. Birbirine iple bağlı cisimler L cisminin ağırlığı etkisinde ivmeli hareket eder. Sistem için

$\vec{F}_{net} = \Sigma m \cdot \vec{a}$

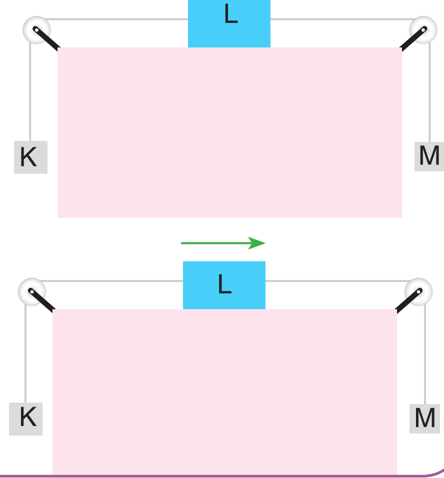
$F_{net} = (m_K + m_L) \cdot a$

$m_L \cdot g = (m_K + m_L) \cdot a$ yazılır.



Uygulama 4

Şekildeki sürtünmesiz sistem K, L ve M cisimleri ile makaralardan oluşmaktadır. Bu sistemi harekete geçiren net kuvvet K ve M cisimlerinin ağırlıkları farkıdır. Hangi cisim daha ağır ise sistem o yönde hareket eder. Yandaki şekilde gösterildiği gibi sistemin hareketi ok yönünde ise M cismi K cisminden daha ağırdır.



Sistem için

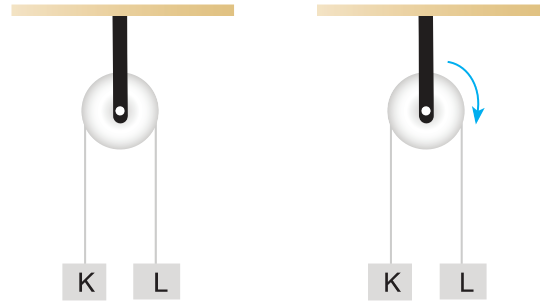
$\vec{F}_{net} = \Sigma m \cdot \vec{a}$

$m_M \cdot g - m_K \cdot g = (m_K + m_L + m_M) \cdot a$ yazılır.



Uygulama 5

Şekildeki sistem K ve L cisimleri ile sürtünmesi önemsenmeyen bir makaradan oluşmaktadır. Bu sistemi harekete geçiren kuvvet, cisimlerin ağırlıkları farkı kadardır. L cisminin kütlesi daha büyük ise sistemin hareket yönü yandaki şekildeki gibi ok yönündedir.



$m_L > m_K$ olmak üzere

$m_L \cdot g - m_K \cdot g = (m_K + m_L) \cdot a$ olur.



Görsel 1.35 *Topa etki uygulandığında top da bir tepki kuvveti oluşturur.*

Bir cisim başka bir cisme etki ettiğinde diğer cisim de uygulanan etkiye zıt yönde ve eşit büyüklükte bir tepki gösterir. Bu eşitlik $\vec{F}_{etki} = -\vec{F}_{tepki}$ olarak ifade edilebilir.

9. sınıfta günlük hayattaki pek çok olayın etki ve tepki kuvvet çiftleriyle açıklandığını öğrenmiştiniz. Görsel 1.35'teki gibi bir voleybol topuyla smaç bastığınızda eliniz biraz acır. Çünkü elinizle topa bir kuvvet uyguladığınızda top da elinize bir tepki kuvveti uygular. Görsel 1.36'da kanoyu hareket ettirmek için kürekleriyle suyu gideceği yönün tersine doğru iten sporcular görülmektedir. Kürekler suya etki kuvveti uygularken su da ters yönde tepki kuvveti uygular ve bu tepki kuvveti etkisi ile kano ilerler.



Görsel 1.36 *Sporcular kürekle suya bir etki uyguladığında su da kürek-lere bir tepki kuvveti uygular. Bu tepki kuvveti kanonun hareketini sağlar.*



Okuma Parçası

KUŞ GİBİ UÇUP YUNUS GİBİ YÜZMEK...

Son yıllarda deniz eğlencelerine bir yenisi daha eklendi. Görsel 1.37'de, deniz suyunu iterek denizde ilerleme sağla-yan bu eğlence aracı farklı fonksiyonlara sahiptir. Flyboard (fılay bord) olarak anılan bu alet basınçlı su yardımıyla yak-laşık olarak denizden 10 m yüksekliğe kadar çıkabilmektedir. Bunun yanı sıra denizin içine doğru dalıp yunus balığı dalış-larına benzer hareketlere de olanak sağlamaktadır. Bu aletin çalışma prensibi sizce ne olabilir?



Görsel 1.37 *Bir deniz eğlence aracı olan flyboard, suyu geriye itmesi ile oluşan tepki kuvveti sayesinde yükselir.*

Şekil 1.25'te cisimlere uygulanan etki ve tepki kuvvetleri incelenmiştir.

Sürtünmesiz yüzeylerdeki cisimler	Serbest cisim diyagramı	Tepki kuvveti (N)
	$\vec{N}$ $\vec{G}$	Cisim yüzeye ağırlığı kadar kuvvet uygular. Yüzey de cisme ağırlığı kadar tepki kuvveti uygular. $\vec{N} = -\vec{G}$
$\vec{F}$	$\vec{F}$ $\vec{N}$ $\vec{G}$	Cisme etki eden F kuvveti, cismin ağırlığının yüzeye yaptığı etkiyi azaltır. $\vec{N} = -(\vec{G} + \vec{F})$
$\vec{F}$ α	F kuvveti bileşenlerine ayrılır. $\vec{F}_x$ $\vec{F}_y$ $\vec{F}$ $\vec{F}_y$ $\vec{N}$ $\vec{G}$	F kuvvetinin düşey bileşeni, ağırlıkla aynı yönde yüzeye etki eder. $\vec{N} = -(\vec{G} + \vec{F}_y)$
$\vec{F}$ α	F kuvvetini bileşenlerine ayırılır. $\vec{F}_y$ $\vec{F}$ $\vec{F}_x$ $\vec{F}_y$ $\vec{N}$ $\vec{G}$	F kuvvetinin düşey bileşeni, cismin ağırlığının yüzeye yaptığı etkiyi azaltır. $\vec{N} = -(\vec{G} + \vec{F}_y)$
	Ağırlık bileşenlerine ayırılır. $\vec{G}_x$ $\vec{G}_y$ $\vec{G}$ $\vec{N}$ $\vec{G}_y$	Ağırlığın sadece düşey bileşeni yüzeye etki eder. $\vec{N} = -\vec{G}_y$

Şekil 1.25 *Sürtünmesiz yüzeylerde bulunan cisme etki eden etki ve tepki kuvvetlerinin farklı durumlarda bulunması*

Bir cisim bir yüzey üzerinde kayarak hareket ettiğinde cisim ile yüzey birbirine kayma yüzeyine paralel sürtünme kuvveti uygular. Cisimlere, durgun olduklarında statik sürtünme kuvveti, hareketli olduklarında ise kinetik sürtünme kuvveti etki eder. Statik sürtünme kuvvetinin büyüklüğünün $f_s = k_{statik} \cdot N$, kinetik sürtünme kuvvetinin büyüklüğünün $f_s = k_{kinetik} \cdot N$ bağıntısı ile hesaplandığını anımsayınız.

Şekil 1.26'da cisimlere uygulanan sürtünme kuvvetleri incelenmiştir.

Sürtünmeli yüzeylerdeki cisimler	Serbest cisim diyagramı	Sürtünme kuvveti
$\vec{F}$ Cisim durmaktadır.	$\vec{N}$, $\vec{F}$, $\vec{f_s}$, $\vec{G}$	$\vec{f_s} = -\vec{F}$ $\vec{N} = -\vec{G}$
Hareket yönü Cisim ok yönünde hareket etmektedir.	$\vec{N}$, $\vec{f_s}$, $\vec{G}$	$\vec{N} = -\vec{G}$ $f_s = k_{kinetik} \cdot m \cdot g$
Hareket yönü $\vec{F}$ Cisim ok yönünde hareket etmektedir.	$\vec{F}$, $\vec{N}$, $\vec{f_s}$, $\vec{G}$	$\vec{N} = -(\vec{G} + \vec{F})$ $f_s = k_{kinetik} \cdot (mg + F)$
$\vec{F}$ yatay Düşey duvar Cisim durmaktadır.	$\vec{f_s}$, $\vec{N}$, $\vec{F}$, $\vec{G}$	$\vec{f_s} = -\vec{G}$ $\vec{N} = -\vec{F}$ $f_s = k_{statik} \cdot F$
Cisim durmaktadır.	$\vec{N}$, $\vec{f_s}$, $\vec{G_x}$, $\vec{G_y}$, $\vec{G}$	$\vec{f_s} = -\vec{G_x}$ $\vec{N} = -\vec{G_y}$ $f_s = k_{statik} \cdot G_y$

Şekil 1.26 *Sürtünmeli yüzeylerde bulunan cisme etki eden sürtünme kuvvetlerinin farklı durumlarda bulunması*

ÖRNEK 19



Sürtünme katsayısı 0,5 olan yatay bir yüzeyde duran 5 kg kütleli cisme, 50 N'lık kuvvet şekildeki gibi uygulanıyor. Buna göre;

a) Cisme etki eden sürtünme kuvveti kaç N'dır?

b) Cismin ivmesi kaç m/s² dir? (g = 10 N/kg; statik ve kinetik sürtünme katsayılarını eşit alınız.)

ÇÖZÜM

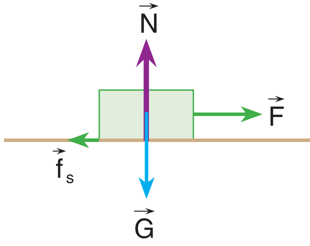
a) Yüzeyin cisme uyguladığı tepki kuvveti cismin ağırlığı kadardır.

$G = m \cdot g$

$G = 5 . 10 = 50$ N ise tepki kuvveti; $N = 50$ N olur.

$f_s = k \cdot N$ formülünü kullanarak sürtünme kuvveti bulunur.

$f_s = 0,5 . 50 = 25$ N



b) Cisme etki eden kuvvetler şekildeki gibidir. Buna göre

$\vec{F}_{net} = m \cdot \vec{a}$

$F - f_s = m \cdot a$

$50 - 25 = 5 \cdot a$

$a = 5$ m/s² bulunur.



Sıra Sizde 1.19

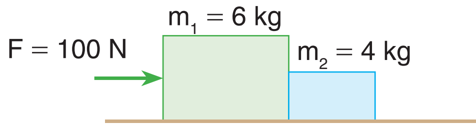


Sürtünmeli yatay bir düzlemdeki 2 kg kütleli cisme 30 N ve 20 N'lık iki kuvvet şekildeki gibi uygulandığında cisim 1 m/s² lik ivme ile hareket etmektedir. Buna göre;

a) Yatay düzlemle cisim arasındaki sürtünme kuvvetini,

b) Yatay düzlemle cisim arasındaki sürtünme katsayısını bulunuz. (g = 10 N/kg; statik ve kinetik sürtünme katsayılarını eşit alınız.)

ÖRNEK 20

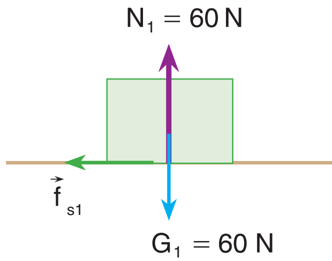


Kütleleri 4 kg ve 6 kg olan cisimler ile yatay düzlem arasındaki sürtünme katsayısı 0,5'tir. Cisimler şekildeki gibi 100 N büyüklüğünde bir kuvvetle harekete başlatıldığında m_1 kütleli cismin m_2 kütleli cisme uyguladığı kuvvet kaç N olur?

(g = 10 N/kg; statik ve kinetik sürtünme katsayılarını eşit alınız.)

ÇÖZÜM

Sisteme etki eden net kuvveti bulmak için cisimlere etki eden sürtünme kuvvetlerinin hesaplanması gerekir.



m_1 kütleli cisme etki eden sürtünme kuvveti,

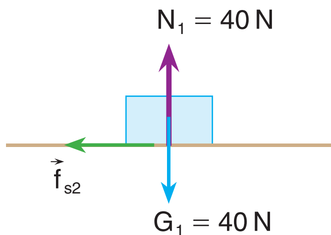
$G_1 = m_1 \cdot g = 6 \cdot 10 = 60$ N ise N = 60 N olur.

$f_{S1} = k \cdot N = 0,5 \cdot 60 = 30$ N bulunur.

m_2 kütleli cisme etki eden sürtünme kuvveti,

$G_2 = m_2 \cdot g = 4 . 10 = 40$ N ise $N_2 = 40$ N olur.

$f_{s2} = k \cdot N = 0,5 \cdot 40 = 20$ N bulunur.



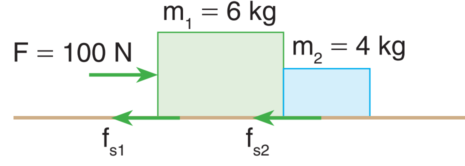


Dikkat Ediniz

Kuvvet ve hareket konusunda pek çok farklı durum karşımıza çıkar. Özellikle birden fazla cisimden, iplerden ve makaralardan oluşan sistem sorularını çözerken
$\vec{F}_{net} = m \cdot \vec{a}$ *bağıntısını tüm sisteme uygulayabildiğimiz gibi her bir cisme de ayrı ayrı uygulayabiliriz ve* $\vec{F}_{net} = \Sigma m \cdot \vec{a}_{sistem}$ *yazabiliriz.*

Sistemdeki ip gerilmeleri ve tepki kuvvetleri hesaplanırken cisimlerin serbest cisim diyagramlarının çizilerek değerlendirilmesi gerekir. Sistemin ivmesi, cismin de ivmesi olduğundan
$\vec{F}_{net} = m_{cisim} \cdot \vec{a}_{sistem}$ *bağıntısı kullanılarak cisme etki eden net kuvvet bulunur. Böylelikle cisme etki eden kuvvetlerden bilinmeyen kuvvet bulunur.*

Sisteme etki eden kuvvetler şekildeki gibidir.



$\vec{F}_{net} = \Sigma m \cdot \vec{a}_{sistem}$ bağıntısı yazılırsa

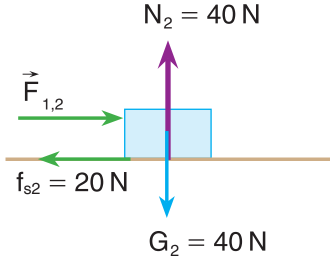
$F_{net} = F - (f_{s1} + f_{s2})$ olur.

$F_{net} = 100 - (30 + 20) = 50$ N

$F_{net} = (m_1 + m_2) \cdot a_{sistem}$

$50 = (6 + 4) \cdot a_{sistem}$

$a_{sistem} = 5\ m/s^2$ bulunur.



m_1 kütleli cismin m_2 kütleli cisme uyguladığı kuvvet bulunurken cisimlerden birinin incelenmesi yeterlidir. m_2 kütleli cisim incelenirse

$\vec{F}_{1,2}$ m_1 kütleli cismin m_2 kütleli cisme uyguladığı kuvvet olmak üzere cisme etki eden net kuvvet,

$F_{net} = F_{1,2} - f_{s2}$ olur.

$F_{net} = \Sigma m \cdot a_{sistem}$

$F_{net} = m_2 \cdot a_{sistem}$

$F_{1,2} - f_{s2} = m_2 \cdot a_{sistem}$

$F_{1,2} - 20 = 4 \cdot 5$

$F_{1,2} = 40$ N olur.

m_1 kütleli cismin m_2 kütleli cisme uyguladığı kuvvet ile m_2 kütleli cismin m_1 kütleli cisme uyguladığı kuvvetler etki-tepki kuvvetleri olduğu için eşit büyüklükte ve zıt yöndedir. Bu durumda $F_{1,2} = F_{2,1} = 40$ N'dır.

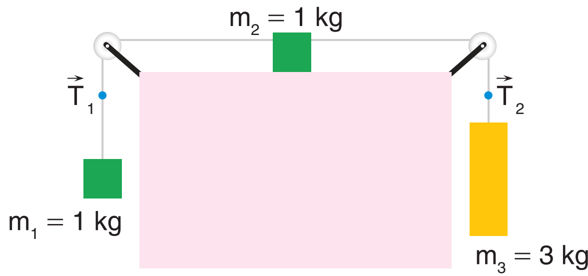


Sıra Sizde 1.20

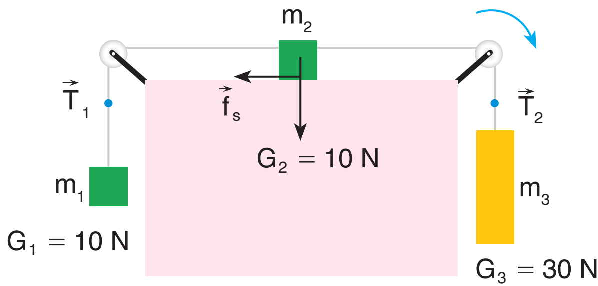
Şimdi siz de m_1 kütleli cismi inceleyerek aynı sonucu bulunuz.

ÖRNEK 21

Sadece yatay düzlemin sürtünmeli olduğu sistemde, sürtünme katsayısı 0,5'tir. Şekilde m_1 ve m_2 kütleli cisimler arasındaki ipteki gerilme kuvveti T_1; m_2 ve m_3 kütleli cisimler arasındaki ipteki gerilme kuvveti T_2 kadardır. Sistem serbest bırakıldığında iplerde oluşan T_1 ve T_2 gerilme kuvvetlerini bulunuz.
(g = 10 N/kg; statik ve kinetik sürtünme katsayılarını eşit alınız.)



ÇÖZÜM



Sisteme etki eden kuvvetler şekildeki gibidir. m_2 kütleli cismin ağırlığı $G_2 = m_2 \cdot g = 1 \cdot 10 = 10$ N ve etki eden sürtünme kuvvetinin büyüklüğü, $f_s = k \cdot N = 0,5 \cdot 10 = 5$ N bulunur.

Sistem serbest bırakıldığında m_3 kütleli cismin ağırlığı m_1 kütleli cismin ağırlığından büyük olduğu için sistem ok yönünde harekete geçer. Cisimlerin ağırlıkları,

$G_1 = m_1 \cdot g = 1 \cdot 10 = 10\,N$ ve $G_3 = m_3 \cdot g = 3 \cdot 10 = 30\,N$ olduğu için sistemi harekete geçiren net kuvvet,

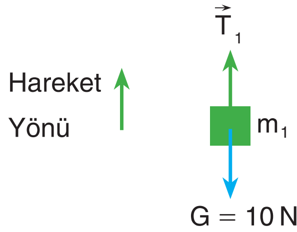
$F_{net} = G_3 - G_1 - f_s = 30 - 10 - 5 = 15$ N olur.

Sistemin ivmesi

$\vec{F}_{net} = \sum m \cdot \vec{a}_{sistem}$

$15 = (1 + 1 + 3) \cdot a_{sistem}$

$a_{sistem} = 3\ m/s^2$ bulunur.



Cisimler arasındaki iplerdeki gerilme kuvvetleri $\vec{T}_1$ ve $\vec{T}_2$ bulunurken iplerin bağlı olduğu cisimlerden birinin incelenmesi yeterlidir. m_1 kütleli cisme etki eden kuvvetler şekildeki gibi çizilir.

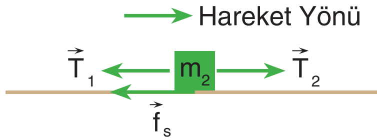
Hareket ok yönünde olduğundan cismin ağırlığı ipteki gerilme kuvvetinden küçüktür.

$\vec{F}_{net} = m_1 \cdot \vec{a}_{sistem}$

$T_1 - G_1 = m_1 \cdot a_{sistem}$

$T_1 - 10 = 1 \cdot 3$

$T_1 = 13$ N bulunur.



$\vec{T}_2$ gerilme kuvvetini bulmak için m_2 kütleli cismin serbest cisim diyagramı çizilir.

Kuvvetler incelediğinde hareket ok yönünde olduğu için $\vec{T}_2$ gerilme kuvvetinin $\vec{T}_1$ gerilme kuvveti ile $\vec{f}_s$ sürtünme kuvvetinin bileşkesinden büyük olduğu anlaşılır.

Bağıntı yazılırsa

$\vec{F}_{net} = \sum m \cdot \vec{a}_{sistem}$

$T_2 - T_1 - f_s = m_2 \cdot a_{sistem}$

$T_2 - 13 - 5 = 1 \cdot 3$

$T_2 = 21$ N bulunur.

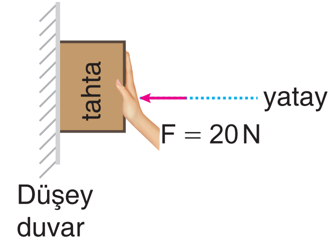


Sıra Sizde 1.21

Şimdi siz de m_3 kütleli cismi inceleyerek aynı sonuçları doğrulayınız.

ÖRNEK 22

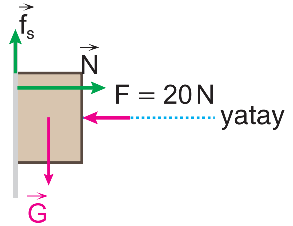
Düşey duvara dayalı tutulan tahtaya 20 N büyüklüğünde kuvvet uygulandığında tahta dengede kalmaktadır. Duvar ile tahta arasındaki sürtünme katsayısı 0,5 olduğuna göre, tahtanın ağırlığını bulunuz (Statik ve kinetik sürtünme katsayılarını eşit alınız).



ÇÖZÜM

Tahta dengede olduğuna göre tahtaya etkiyen net kuvvet sıfırdır. Buna göre

$\vec{f_s} = -\vec{G}$ olur.



Duvarın tahtaya uyguladığı tepki kuvveti,

N = F = 20 N dır.

Sürtünme kuvveti,

$f_s = k \cdot N$

$f_s = 0,5 \cdot 20$

$f_s = 10\,N$ bulunur.

Tahtanın ağırlığı,

$G = f_s = 10\,N$ olur.

ÖRNEK 23

Eğik olarak yerleştirilen kalasların üzerindeki 150 kg kütleli tekne yatayla 37° açı yapacak biçimde görseldeki gibi dengededir.

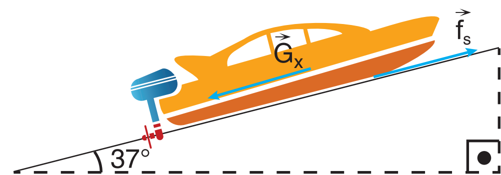
Buna göre tekneye etki eden sürtünme kuvvetini bulunuz. (g = 10 N/kg; statik ve kinetik sürtünme katsayılarını eşit alınız. sin 37° = 0,6; cos 37° = 0,8)



ÇÖZÜM

Tekne dengede olduğu için tekneye etki eden net kuvvet sıfırdır. Teknenin ağırlığının eğik düzleme paralel bileşeni ile sürtünme kuvvetinin büyüklükleri birbirine eşittir.

$\vec{f_s} = -\vec{G_x}$



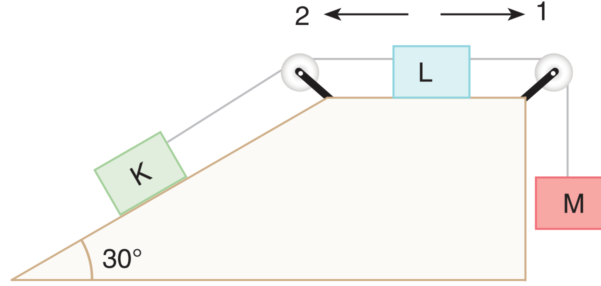
Teknenin ağırlığının yatay bileşeni,

$G_x = m \cdot g \cdot \sin 37°$

$G_x = 150 \cdot 10 \cdot 0,6 = 900\,N$ bulunur.

Buna göre $f_s = 900\,N$ olur.

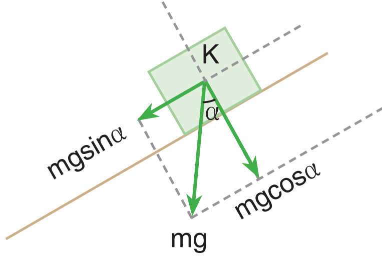
ÖRNEK 24



Şekildeki gibi eşit kütleli cisimlerden oluşan sistem sürtünmesizdir. Sistem serbest bırakıldıktan bir süre sonra L ve M cisimleri arasındaki ip kopuyor. Cisimlerin ip kopmadan önceki ve ip koptuktan sonraki hareketleri için ne söylenebilir?

(Şekilde 1 ve 2 ile yönler ifade edilmektedir. sin30° = 0,5)

ÇÖZÜM



Eğik düzlem üzerindeki K cisminin ağırlığı bileşenlerine ayrılır.

K cisminin mgsinα bileşeni sistemin hareketini etkiler. Sistemde sürtünme olmadığı için mgcosα bileşeninin harekete etkisi yoktur.

$mgsin\alpha = mg \cdot \sin 30^\circ = 1/2\ mg$ olur. İp kopmadan önce sistem M cisminin ağırlığı ve K cisminin ağırlığının eğik düzleme paralel bileşeni etkisinde harekete başlar. M cisminin ağırlığı $G_M = m_M \cdot g$'dir.

$m_M \cdot g > mgsin\alpha$ ($mg > 1/2\ mg$) olduğu için sistem M cisminin çektiği yönde yani 1 yönünde hızlanan hareketi oluşturur. Buna göre

$$\vec{F}_{net} = \Sigma m \,.\, \vec{a}_{sistem}$$

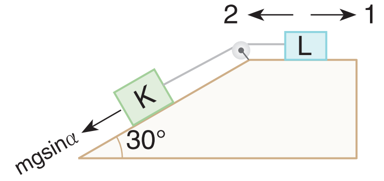
$$mg - 1/2\ mg = 3m \cdot a_{sistem}$$

$$1/2\ mg = 3m \cdot a_{sistem}$$

$$a_{sistem} = g/6 \text{ olur.}$$

İp koptuktan sonra M cismi sadece kendi ağırlığının etkisiyle aşağıya doğru hızlanan hareketi oluşturur. M cismi için $\vec{F}_{net} = m \cdot \vec{a}$ yazılırsa $mg = m \cdot a$ ve $a = g$ olur.

K ve L cisimlerine ise K cisminin ağırlığının eğik düzleme paralel bileşeni etki eder. Bu durumda cisimlerin hareket yönüne zıt yönde bir net kuvvet etki eder ve cisimlerin her ikisi de zıt yöndeki bu kuvvetten dolayı önce yavaşlar sonra da durur. Daha sonra bu cisimler K cisminin eğik düzleme paralel bileşeninin etkisiyle tekrar 2 yönünde hızlanır. İp koptuktan sonra K ve L cisimlerinin ivmesi,



$$\vec{F}_{net} = \Sigma m \cdot \vec{a}$$

$$1/2\ mg = 2m \cdot a$$

$$a = g/4 \text{ olur.}$$



1. ÜNİTE: 3. BÖLÜM DEĞERLENDİRME SORULARI

A. Aşağıdaki cümlelerde boş bırakılan yerleri uygun kelimeleri kullanarak tamamlayınız.

dengelenmemiş	dengelenmiş	etki-tepki
net	eylemsizlik	sistem

1. Bir .... iki veya daha fazla cisimden oluşur.

2. .... kuvvetler etkisindeki bir cisim hızlanabilir ya da yavaşlayabilir.

3. Cisimler her zaman .... kuvvetin yönünde hareket eder.

4. Roketlerin çalışma prensibi .... ile açıklanabilir.

5. Bir cismin hareket durumunu koruma eğilimine .... denir.

B. Aşağıdaki cümlelerin başına doğru ise "D", yanlış ise "Y" yazınız.

1. (   ) Etki ve tepki kuvvetleri aynı cisim üzerine uygulanır.

2. (   ) Sabit hızla giden bir arabanın içindeyken araba ani fren yaptığında öne doğru gideriz.

3. (   ) Sürtünmesiz yatay düzlemde durmakta olan bir cisme etki eden eşit şiddetteki kuvvetler aynı yönlü ise cisme ivme kazandırmaz.

4. (   ) Sürtünmesiz eğik düzlem üzerindeki bir cisim serbest bırakıldığında, cismin ivmesi kütlesine bağlı değildir.

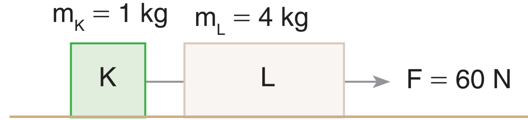
5. (   ) Sürtünme kuvveti, sürtünen yüzeylerin alanına bağlıdır.

C. Aşağıdaki soruları cevaplayınız.

1. Etki ve tepki kuvvetleri aynı yönlü olabilir mi? Açıklayınız.
2. Serbest cisim diyagramı nedir? Açıklayınız.
3. Newton hareket kanunlarını kısaca açıklayınız.
4. Eylemsizlik nedir? Günlük hayatınızdan örnekler vererek açıklayınız.

Ç. Aşağıdaki problemleri çözünüz. (Bu bölümde g = 10 N/kg alınız.)

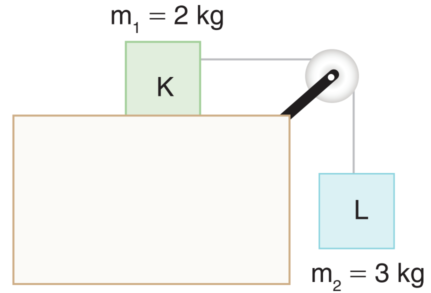
1. Yatay düzlem ile m_K ve m_L kütleli cisimler arasındaki sürtünme katsayısı 0,5'tir. Cisimler 60 N'lık kuvvetle çekilerek harekete başlatıldığında kütleleri bağlayan ipteki gerilme kuvveti kaç N olur?



2. Birbirlerine iple bağlanmış K ve L cisimlerinden oluşan sürtünmesiz sistem serbest bırakıldığında,

   a) İpteki gerilme kuvveti kaç N olur?

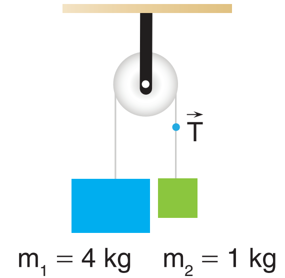
   b) Sistem harekete başladıktan bir süre sonra cisimlerin arasındaki ip koparsa cisimlerin hareketi nasıl olur?



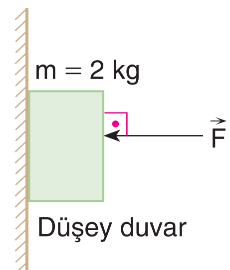
3. Sürtünmesiz sistemde m_1 ve m_2 kütleli cisimler serbest bırakıldığında,

   a) Sistemin ivmesi kaç m/s² olur?

   b) İpteki gerilme kuvveti $(\vec{T})$ kaç N olur?



4. Kütlesi 2 kg olan K cismine $\vec{F}$ kuvveti uygulandığında cisim şekildeki gibi dengede kalıyor. Cisimle duvar arasındaki sürtünme katsayısı 0,5 olduğuna göre $\vec{F}$ kuvvetinin alabileceği en küçük değer kaç N olmalıdır? (g = 10 N / kg alınız.)

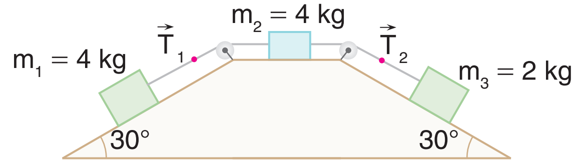


5. Sürtünmesiz sistemdeki m_1, m_2 ve m_3 kütleli cisimler serbest bırakılıyor.

Buna göre;

a) Sistemin ivmesi kaç m/s² dir?

b) İplerdeki $\vec{T}_1$ ve $\vec{T}_2$ gerilme kuvvetleri kaç N'dır? $(\sin 30^\circ = 0,5)$

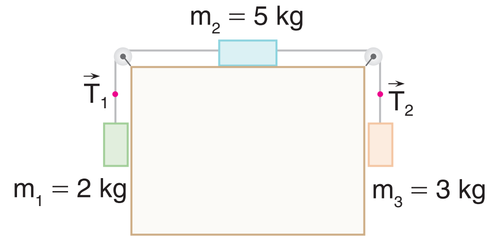


6. Sürtünmesiz sistemdeki m_1, m_2 ve m_3 kütleli cisimler serbest bırakılıyor.

Buna göre;

a) Cisimlerin hareket yönlerini gösteriniz.

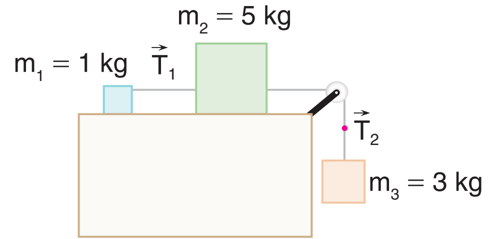
b) İplerdeki $\vec{T}_1$ ve $\vec{T}_2$ gerilme kuvvetlerini bulunuz.



D. Aşağıdaki test sorularını çözünüz.

(Bu bölümde g = 10 N/kg alınız.)

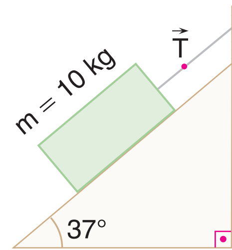
1. Sürtünmenin sadece yatay düzlemde olduğu sistemde sürtünme katsayısı 0,1'dir. Sistem serbest bırakıldığında iplerdeki gerilme kuvvetleri oranı $\frac{T_1}{T_2}$ kaç olur? (Statik ve kinetik sürtünme katsayılarını eşit alınız.)



A) $\frac{1}{8}$ **B)** $\frac{1}{6}$ **C)** $\frac{1}{4}$ **D)** $\frac{1}{3}$ **E)** $\frac{1}{2}$

2. Eğik düzlem üzerindeki 10 kg kütleli cisim, eğik düzleme paralel durumdaki ip yardımıyla şekildeki gibi dengededir.

Cisim ile eğik düzlem arasındaki sürtünme katsayısı 0,6 olduğuna göre ipteki gerilme kuvveti $(\vec{T})$ kaç N olur? (sin37° = 0,6; cos37°=0,8)



A) 12 **B)** 14 **C)** 16 **D)** 18 **E)** 20

1.4. BİR BOYUTTA SABİT İVMELİ HAREKET

Bu bölümde;

- Bir boyutta sabit ivmeli hareketi,
- Bir boyutta sabit ivmeli hareket denklemlerini ve grafiklerini,
- Havanın olmadığı ortamda serbest düşen cisimlerin hareketlerini analiz etmeyi,
- Serbest düşen cisimlere etki eden hava direnç kuvvetinin bağlı olduğu değişkenleri analiz etmeyi,
- Limit hızı ve limit hıza etki eden değişkenleri analiz etmeyi,
- Düşey doğrultuda atış hareket denklemlerini ve grafiklerini,
- Bir boyutta sabit ivmeli hareket ile ilgili problemleri çözmeyi öğreneceğiz.

Kavramlar

- İvme
- Sabit ivmeli hareket
- Serbest düşme
- Limit hız
- Düşey doğrultuda atış hareketi

AKLIMDAKİ SORULARIN CEVABI KİMDE?

Serdar arabalara ve araba yarışlarına oldukça meraklı bir öğrencidir. Araba dergilerini sürekli takip eder ve televizyonda Formula 1 yarışlarını (Görsel 1.38) vakit buldukça izler. Serdar, arabaların 0-100 km/h hızlanma sürelerini çok iyi bilir. Fakat aklına takılan birçok soru vardır. Bazı arabalar çok çabuk hızlanırken bazı arabalar da aynı hıza neden daha geç ulaşmaktadır? Arabaların hızlarındaki artışlar eğer sabit kabul edilirse arabalar hangi saniyede hangi hıza ulaşır?



Görsel 1.38 *Formula 1 yarışları*

Serdar kardeşi Selin'e bunları anlatırken Selin de kendi aklına takılan soruları ağabeyinin cevaplayabileceğini düşünmektedir. Selin'in soruları üst üste gelir:

- Aynı yükseklikten düşmelerine rağmen dolu taneleri (Görsel 1.39) neden yağmur tanelerinden daha hızlı yere çarpar?
- Uçaktan atlayan paraşütçüler yere kazasız indiklerinde (Görsel 1.40) neden olumsuz bir etki ile karşılaşmazlar?



Görsel 1.39 *Yere düşen dolu taneleri*



Görsel 1.40 *Yere güvenle inen paraşütçü*

1.4.1. Bir Boyutta Sabit İvmeli Hareket



Görsel 1.41 *Otobüsün ivmesi trafikten dolayı metroya ve uçağa göre daha değişkendir.*



Görsel 1.42 *Metro, duraklar arasında ivmeli hareket yaparak hareket eder. Metro hattında trafik olmadığı için ivmesi sabit kabul edilebilir.*



Görsel 1.43 *Duruştan harekete geçen uçağın kalkış hızına ulaşabilmesi için pistin sonuna kadar oldukça büyük bir ivme ile hızlanması gerekir.*

Görsel 1.41'deki gibi duraktan yolcularını alan bir otobüs, hızlanarak harekete geçtikten sonra, bir süre sabit hızla gider ve sonraki durağa yaklaştığında durur. Benzer şekilde bindiğimiz metro (Görsel 1.42) ve uçak da (Görsel 1.43) durma, hızlanma ve yavaşlama hareketleri yapar. Hareket eden tüm bu araçlar aynı hıza aynı sürede ulaşamaz. Kalkış sırasında hızlanan bir uçakla, duraktan yolcu alıp harekete geçen otobüsün hızlanmaları eşit değildir. Ayrıca günlük hayatta karşılaştığımız bu hızlanmalar ve yavaşlamalar düzenli değildir.

9. sınıf fizik dersinde, birim zamanda hızda meydana gelen değişimin ivme olarak adlandırıldığını öğrenmiştiniz. Newton Hareket Kanunları'nda ise bir cisme etki eden net bir kuvvet varsa cismin ivmeli hareket yaptığını, net kuvvet hareketle aynı yönlü ise cismin hızlandığını, zıt yönlü ise yavaşladığını öğrendiniz.



Görsel 1.44 *Eğimi sabit olan bir yokuştan pedal çevirmeden inen bisikletlinin hızı düzgün olarak artar.*

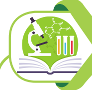
Bir doğru boyunca cisme etki eden net kuvvet zamanla değişmiyorsa cismin ivmesi de sabit olur. Bir doğru boyunca sabit bir net kuvvetin etkisinde hareket eden cismin hareketine "**bir boyutta sabit ivmeli hareket**" denir. Hareketin ivmesi sabit olduğu için hız düzgün olarak değişir. Bu yüzden bu harekete aynı zamanda "**düzgün değişen doğrusal hareket**" de denir. Görsel 1.44'teki eğimi sabit bir yokuştan pedal çevirmeden inen bisikletlinin hızlanması, sabit ivmeli hareket için iyi bir örnek sayılabilir. Görsel 1.45'teki gibi zıplayan top yukarı aşağı yönde, bir doğru boyunca düşey doğrultuda hareket eder. Top, hareket süresince üzerine uygulanan net kuvvet nedeniyle ivmeli hareket oluşturur.



Görsel 1.45 *Top zıplarken düşey doğrultuda hareket eder. Hareketi sırasında üzerine net bir kuvvet uygulandığı için ivmeli hareket yapar.*

1.4.2. Bir Boyutta Sabit İvmeli Hareket ile İlgili Hesaplamalar

Sürtünmesiz eğik düzlemden serbest bırakılan cisme eğik düzlemdeki hareketi boyunca etki eden net kuvvetin $mg\sin\alpha$ kadar olduğunu ve bu net kuvvetin sabit ivmeli harekete neden olduğunu anımsayınız. Şimdi sabit bir net kuvvet etkisinde hareket eden cismin hareketini incelemek için Etkinlik 1.1'i yapınız.



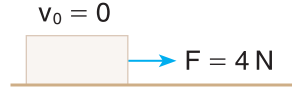
Etkinlik 1.1

Mermer Bloğun Hareketi

Amacı: Bir boyutta sabit ivmeli hareket grafiklerini kavramak

Etkinliğin Basamakları

- Sürtünmesiz yatay düzlemde durmakta olan 2 kg kütleli mermer bloğa, yola paralel olarak 4 N büyüklüğünde bir kuvvetin 3 saniye boyunca uygulandığını varsayalım. Bu kuvvetin oluşturduğu ivmeyi ve her saniye sonundaki hızlarını hesaplayarak Tablo 1.1'de ilgili bölüme yazalım.



Tablo 1.1 *Etkinlikteki mermer bloğun hız ve ivme değerleri*

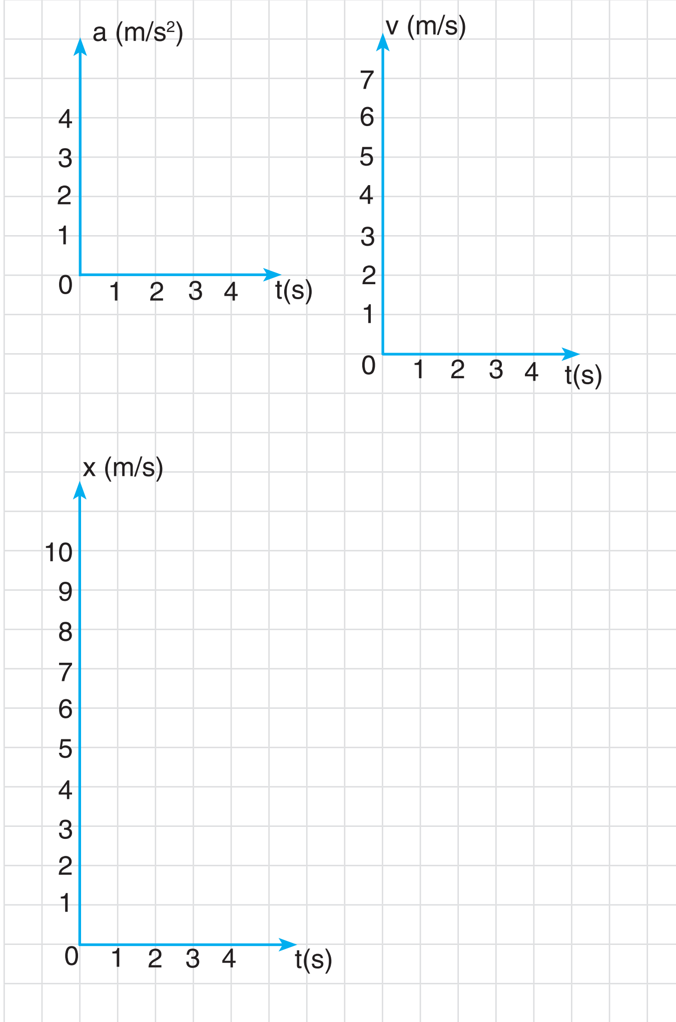
t (s)	0	1	2	3
a (m/s²)				
v (m/s)				

Tablo 1.1'deki bilgileri kullanarak mermer bloğun ortalama hızlarını ve konumlarını hesaplayarak Tablo 1.2'de ilgili bölüme yazalım. Tabloyu oluştururken $t = 0$ anındaki ilk hızını $v_0 = 0$ ve konumunu $x_0 = 0$ alırız.

Tablo 1.2 *Etkinlikteki mermer bloğun 0-3 s aralığındaki ortalama hızları ve her saniye sonundaki konumları*

0-1 s arasındaki ortalama hızı	$v_{ort1} =$	1. s sonundaki konumu	$x_1 =$
0-2 s arasındaki ortalama hızı	$v_{ort2} =$	2. s sonundaki konumu	$x_2 =$
0-3 s arasındaki ortalama hızı	$v_{ort3} =$	3. s sonundaki konumu	$x_3 =$

Şimdi Tablo 1.2'den yararlanarak mermer bloğun ivme-zaman ve hız-zaman grafiklerini, Tablo 1.2'den yararlanarak konum-zaman grafiklerini çizelim.



Sonuca Varalım

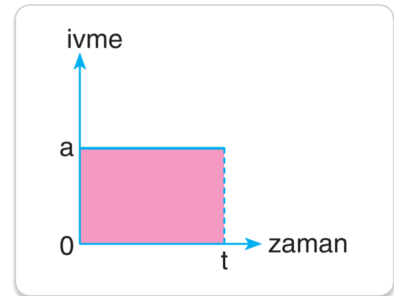
1. İvme-zaman grafiğini kullanarak hızdaki değişimi,

2. Hız-zaman grafiğini kullanarak yer değiştirmeyi nasıl bulabileceğinizi tartışınız.

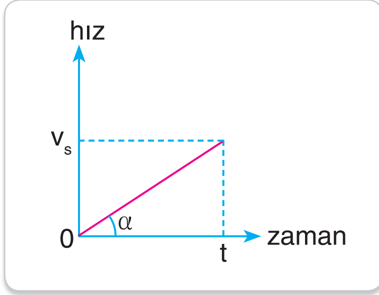
İvme-Zaman Grafiğinin İncelenmesi

Etkinliğin sonucunda Grafik 1.1'dekine benzer bir ivme-zaman grafiği elde ettik. 9. sınıfta ivme-zaman grafiğinin altında kalan alanın hızdaki değişime (Δv) eşit olduğunu öğrenmiştik. Burada küçük bir hatırlatma yaparak

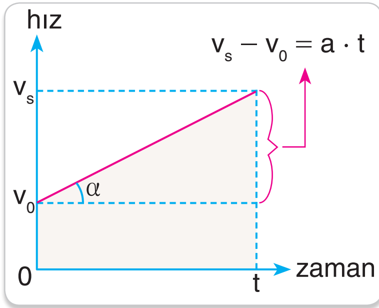
Alan $= a \cdot t = \Delta v$ yazabiliriz.



Grafik 1.1 *Sabit ivmeli harekette ivme-zaman grafiğinin alanı hızdaki değişimi verir.*



Grafik 1.2 *İlk hızı sıfır olan ve sabit ivme ile hızlanan bir cismin hız-zaman grafiğinin eğimi ivmeyi verir.*



Grafik 1.3 *İlk hızı olan ve sabit ivme ile hızlanan cisme ait hız-zaman grafiğinde eğim, ivmeyi verirken grafiğin altında kalan alan cismin yer değiştirmesini verir.*

Hız-Zaman Grafiğinin İncelenmesi

Etkinliğin sonucunda Grafik 1.2'dekine benzer bir hız-zaman grafiği elde ettik. Grafiğin orijin noktasından başlamasının nedeni ilk hızı, $v_0 = 0$ almamızdır. Cismin ilk hızı, $v_0 > 0$ olacak şekilde seçersek yeni grafiğimiz Grafik 1.3'teki gibi olacaktır.

9. sınıfta öğrendiğimiz "**Hız-zaman grafiğinin eğimi ivmeyi verir.**" bilgisini Grafik 1.3'teki grafikte uygularsak

eğim = $\tan\alpha = a$

$a = \dfrac{v_s - v_0}{t}$ yazabiliriz.

Yine 9. sınıf fizik derslerinden öğrendiğimiz "**Hız-zaman grafiğinin altında kalan alan yer değiştirmeyi verir.**" bilgisini Grafik 1.3 üzerinde uygulayarak bir boyutta sabit ivmeli hareket oluşturan cismin yer değiştirme formülünü bulabiliriz. Hız-zaman grafiği görüldüğü gibi biri dikdörtgensel bölge, diğeri üçgensel bölge olmak üzere iki bölgeden oluşmaktadır. Bu iki bölgenin alanlarının toplamı yer değiştirmeyi verecektir.

Dikdörtgensel bölgenin yüksekliği v_0, tabanı t olduğu için alanı $v_0 \cdot t$ kadardır. Üçgensel bölgenin yüksekliği $v_s - v_0 = a \cdot t$, tabanı t kadar olduğu için alanı $\frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2$ kadar olur. İki bölgenin alanları toplamı,

$\Delta x = v_0 \cdot t + \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2$ olur. (1)

Δx: Yer değiştirme,

x_s: Son konum,

x_0: İlk konum olmak üzere $x_s - x_0 = v_0 \cdot t + \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2$ olacağı için

$x_s - x_0 = v_0 \cdot t + \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2$ ve $x_s = x_0 + v_0 \cdot t + \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2$ bulunur.

Zaman İçermeyen Hız Denklemi

İlk hızı v_0 olan ve sabit ivmeli hareket oluşturan cismin hızı v_s olana kadar yaptığı yer değiştirme Δx ve geçen süre t kadar olsun.

$v_s = v_0 + a \cdot t$ bağıntısından $t = \dfrac{v_s - v_0}{a}$ elde edilir. (2)

(2) numaralı denklemdeki t değeri (1) numaralı denklemde yerine konulursa

$$\Delta x = v_0 \cdot t + \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2$$

$$\Delta x = v_0 \cdot \left(\frac{v_s - v_0}{a}\right) + \frac{1}{2} \cdot a \cdot \left(\frac{v_s - v_0}{a}\right)^2$$ olur.

$$\Delta x = \frac{v_0 \cdot v_s - v_0^2}{a} + \frac{v_s^2 - 2v_s \cdot v_0 + v_0^2}{2a}$$ Paydalar eşitlenirse;

$\Delta x = \dfrac{v_s^2 - v_0^2}{2 \cdot a}$ ve $v_s^2 = v_0^2 + 2 \cdot a \cdot \Delta x$ bulunur. Bulunan bu denklemde zaman gizli olarak değişken olsa da doğrudan kullanılmadığı için bu denkleme "**zaman içermeyen hız denklemi**" denir. Bu denklemde v_0 cismin ilk hızı, v_s cismin son hızı, a cismin ivmesi ve Δx cismin yer değiştirmesidir.

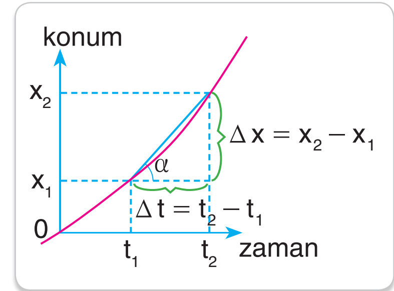
Konum-Zaman Grafiğinin İncelenmesi

Ortalama Hız

Etkinlikten elde ettiğiniz konum-zaman grafiğini, Grafik 1.4'teki gibi inceleyiniz. Grafikteki gibi t_1 ve t_2 zamanlarına karşılık gelen x_1 ve x_2 konumları bir doğru ile birleştirilirse bu doğrunun eğimi,

$$\tan\alpha = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = v_{ort}$$ olur.

O hâlde konum-zaman grafiğinde herhangi bir zaman aralığındaki ortalama hızı bulmak için bu anlara karşılık gelen konumları birleştiren doğrunun eğimi alınabilir.



Grafik 1.4 *Konum-zaman grafiğinde eğim hızı verir. Sabit ivmeli harekette hız değişken olduğu için konum-zaman grafiğinin eğimi de değişkendir. Eğim artıyorsa hız artar, azalıyorsa hız azalır.*

Anlık Hız

Cisim ivmeli hareket oluşturduğu için hızı düzgün olarak değişmektedir. Herhangi bir andaki anlık hızı bulmak için ise konum-zaman grafiğinde o ana karşılık gelen konum noktasından Grafik1.5'teki gibi teğet çizilir.

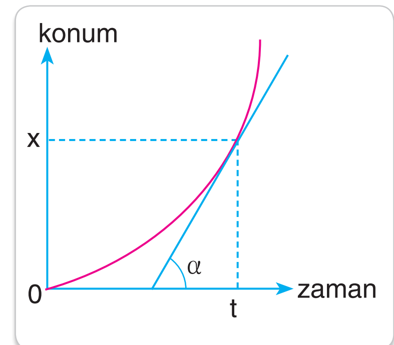
Bu teğetin eğimi t anındaki anlık hız değerini verir.

t anındaki anlık hız,

$v_{anlık} = \tan\alpha$ ile bulunur.

Buraya kadar olan bölümde etkinliğimizden yola çıkarak +x yönünde hızlanan hareketi inceledik. Fakat bir boyutta sabit ivmeli hareket yapan hareketli;

- "+" yönde hızlanan,
- "+" yönde yavaşlayan,
- "–" yönde hızlanan,
- "–" yönde yavaşlayan olmak üzere dört değişik hareket yapabilir.



Grafik 1.5 *Konum-zaman grafiğinde herhangi bir ana karşılık gelen anlık hızın bulunması*

İvmenin ve hızın vektörel büyüklükler olduğunu hatırlayacak olursak "Hızın ve ivmenin aynı yönlü olması hızın artması, zıt yönlü olması ise hızın azalması anlamına gelir." diyebiliriz. Aynı zamanda hızın işareti gidilen yönü vereceğinden;

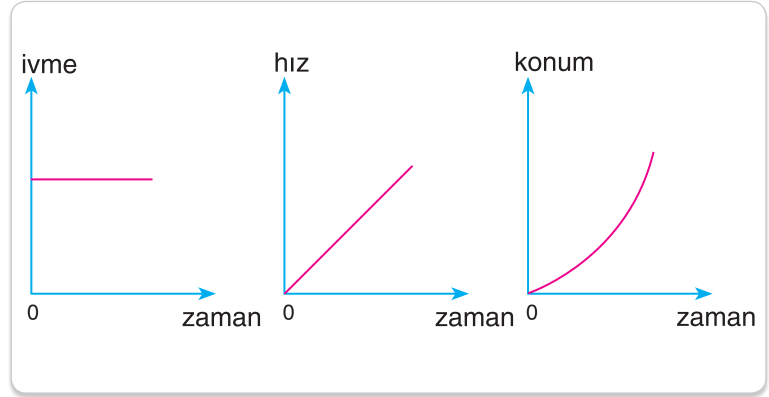
v "+", a "+" işaretli ise cisim "+" yönde hızlanan,

v "+", a "–" işaretli ise cisim "+" yönde yavaşlayan,

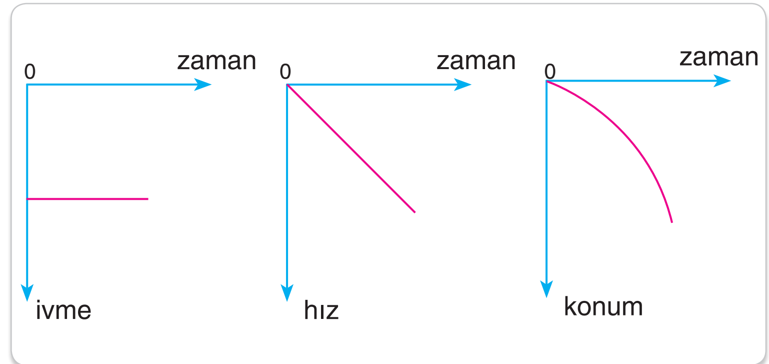
v "–", a "–" işaretli ise cisim "–" yönde hızlanan,

v "–", a "+" işaretli ise cisim "–" yönde yavaşlayan hareket yapar.

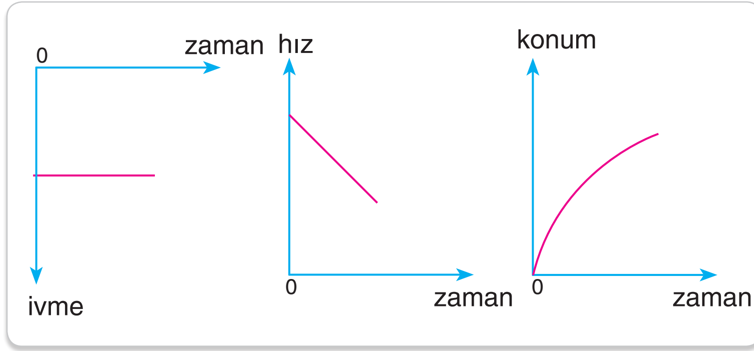
Bu hareketlere sahip cisimler için ivme-zaman, hız-zaman ve konum-zaman grafikleri Grafik 1.6, Grafik 1.7, Grafik 1.8 ve Grafik 1.9'da gösterilmiştir.



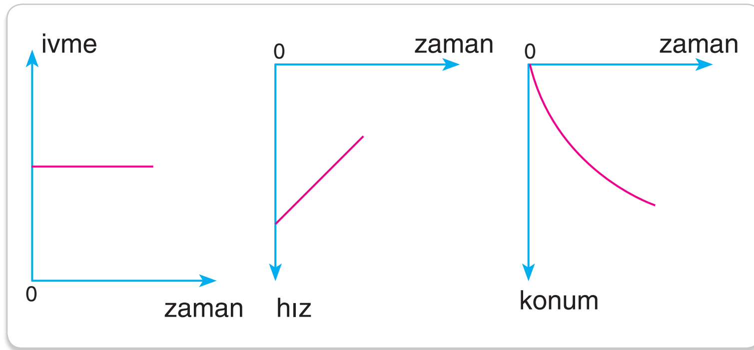
Grafik 1.6 *"+" yönde hızlanan cisme ait ivme-zaman, hız-zaman ve konum-zaman grafikleri (t = 0 anında* $v_0 = 0$ *ve* $x_0 = 0$ *olmak üzere)*



Grafik 1.7 *"–" yönde hızlanan cisme ait ivme-zaman, hız-zaman ve konum-zaman grafikleri (t = 0 anında* $v_0 = 0$ *ve* $x_0 = 0$ *olmak üzere)*



Grafik 1.8 *"+" yönde yavaşlayan cisme ait ivme-zaman hız-zaman ve konum-zaman grafikleri (t = 0 anında x_0 = 0 olmak üzere)*



Grafik 1.9 *"–" yönde yavaşlayan cisme ait ivme-zaman, hız-zaman ve konum-zaman grafikleri (t = 0 anında x_0 = 0 olmak üzere)*

Bir boyutta sabit ivmeli hareket oluşturan bir cisim için değişik durumlardaki ivme-zaman, hız-zaman ve konum-zaman grafikleri yukarıdaki gibi olabilir. Bu grafiklerde ilk hızın ve ilk konumun sıfırdan farklı olması durumunda grafiğin şekli değişmez. Grafiğin başlangıç noktası düşey eksen üzerinde yukarı veya aşağı yöne kayar.

Bir boyutta sabit ivmeli hareket için kinematik denklemler Tablo 1.3'te verilmiştir.

Tablo 1.3 *Bir boyutta sabit ivmeli hareket için kinematik denklemler*

	Bir boyutta sabit ivmeli hareket için kinematik denklemler
Yer değiştirme	$\Delta x = v_0 \cdot t \pm \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2$
Herhangi bir t anındaki hız	$v_s = v_0 \pm a \cdot t$
Zaman içermeyen hız denklemi	$v_s^2 = v_0^2 \pm 2 \cdot a \cdot \Delta x$



Dikkat Ediniz

1. İvme-zaman grafiğinde alan, hızdaki değişimi verir.

2. Hız-zaman grafiğinde eğim, ivmeyi verir.

3. Hız-zaman grafiğinde alan, yer değiştirmeyi verir.

4. Konum-zaman grafiğinde eğim, hızı verir. Eğim artıyorsa hız artıyor, eğim azalıyorsa hız azalıyordur.

5. tanα, 1. bölgede "+" değerli olduğu için 90° $>$ α $>$ 0° ise eğim "+" işaretlidir. tanα, 2. bölgede "–" işaretli olduğu için 180° $>$ α $>$ 90° ise eğim "–" işaretlidir.

6. Hız-zaman grafiğinin eğimi 0 ise a = 0 olur ve cisim sabit hızla hareket ediyor veya duruyor da olabilir.

7. Konum-zaman grafiğinin eğimi 0 ise v = 0 olur ve cisim duruyordur.

8. Hızın işareti aynı zamanda cismin hareket yönünü verir.

9. Hız ve ivme aynı işaretli ise cisim hızlanan, zıt işaretli ise yavaşlayan hareket oluşturuyordur. Bu yüzden ivmenin "+" işaretli olması cismin mutlaka hızlandığı, "–" işaretli olması cismin mutlaka yavaşladığı anlamına gelmez. Buna karar verilebilmesi için cismin hareket yönünün veya ilk hızın işaretinin bilinmesi gereklidir.

Kinematik denklemlerde hızın, ivmenin ve konumun vektörel oldukları unutulmamalıdır. Bu durumda vektörel büyüklüklerin formüllerdeki işaretleri yöne göre seçilir. Hareket yönü "+" olarak seçilen ve sabit ivme ile hızlanan harekette hem hız hem de ivme vektörleri "+" işaretli olacağından, denklemde her ikisi de "+" işaretli olarak kullanılır. Hareket yönü "+" seçilen ve sabit ivme ile yavaşlayan hareket için ise hızın işareti "+" iken ivmenin işareti "–" olur.

ÖRNEK 25



t = 0 anında ağaca göre konumu +30 m olan arabanın ilk hızı 10 m/s'dir. Araba bu andan itibaren 2 m/s²lik ivme ile düzgün olarak hızlanmaya başlıyor. 5 s sonra arabanın ağaca göre konumunu bulunuz.

ÇÖZÜM

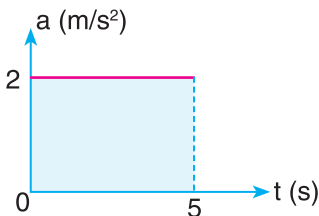
Bir boyutta sabit ivmeli hareket yapan hareketlinin konum denklemi

$x_S = x_0 + v_0 \cdot t + \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2$ idi.

Hareket yönü "+" olarak seçilirse hız, ivme ve ilk konum vektörleri de "+" işaretli olur. Buna göre

$x_S = 30 + 10 \cdot 5 + \frac{1}{2} \cdot 2 \cdot 5^2$ ve $x_s = 105$ m bulunur.

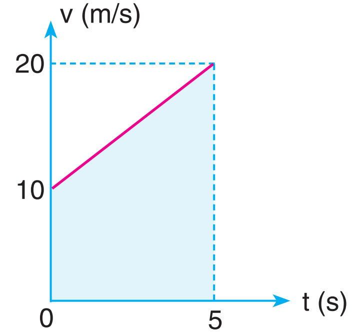
Grafik yardımı ile çözüm yapmak için ilk olarak ivme-zaman grafiği kullanılabilir.



İvme-zaman grafiğinin altında kalan alan hızdaki değişime eşit olacağından arabanın son hızı

$\Delta v = a \cdot t = 2 \cdot 5 = 10$ m/s olur. Arabanın ilk hızı 10 m/s olduğundan

$v_s = v_0 + \Delta v = 10 + 10 = 20$ m/s bulunur. Arabaya ait hız-zaman grafiği yandaki gibidir.



Hız-zaman grafiğinin altında kalan alan yer değiştirmeyi verir. Grafikteki alan dik yamuk olduğundan

$\Delta x = \dfrac{10+20}{2} \cdot 5 = 75$ m bulunur.

$\Delta x = x_s - x_0$

$75 = x_s - 30$

$x_s = 105$ m olur.

ÖRNEK 26



t = 0 anında görseldeki en yakın ağaçtan 20 m geride bulunan tramvayın ilk hızı 30 m/s'dir. Tramvay bu andan itibaren 4 m/s² büyüklüğünde ivme ile yavaşlamaya başlıyor. Yavaşlamaya başladıktan 5 s sonra, ağaca göre konumunu bulunuz. (Tramvay size doğru gelmektedir.)

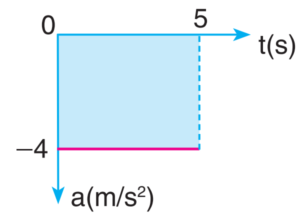
ÇÖZÜM

Tramvayın hareket yönü "+" olarak seçilirse ağaca göre ilk konumu $x_0 = -20$ m ve yavaşladığı için ivmesi "–" işaretli olur.

$x_s = x_0 + v_0 \cdot t + \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2$ denkleminde ilk konum için

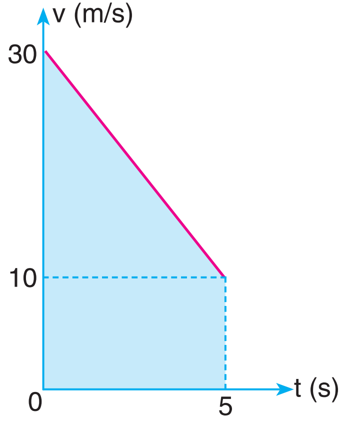
$x_0 = -20$ m, ilk hız için $v_0 = +30$ m/s, ivme için $a = -4$ m/s² ve zaman için t = 5 s yazılır.

$x_s = -20 + 30 \cdot 5 + \frac{1}{2} \cdot (-4) \cdot 5^2$ ve $x_s = +80$ m bulunur. Bu sorunun çözümü, cismin ivme-zaman ve hız-zaman grafiklerinden yararlanılarak da yapılabilir.



İvme-zaman grafiğinin altında kalan alan hızdaki değişime eşit olacağından

Alan $= \Delta v = a \cdot t = (-4) \cdot 5 = -20$ m/s olur.



Arabanın ilk hızı 30 m/s olduğundan

$v_s = v_0 + \Delta v$

$v_s = 30 + (-20)$

$v_s = 10$ m/s bulunur.

İlk hızını ve 5 s anındaki hızını kullanarak arabanın hız-zaman grafiği çizilir.

Hız-zaman grafiğinin altında kalan alan yer değiştirmeyi verir. Grafikten görüldüğü gibi bu alan bir dik yamuktur. Buna göre

Alan $= \Delta x = \frac{10 + 30}{2} \cdot 5 = 100$ m bulunur.

$\Delta x = x_s - x_0$

$100 = x_s - (-20)$

$x_s = 80$ m olur.



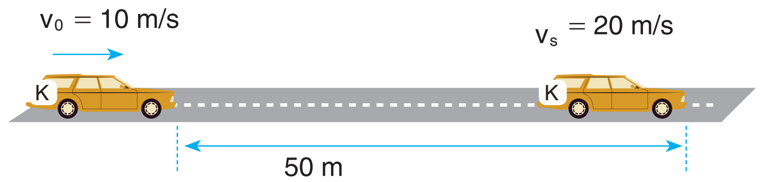
Sıra Sizde 1.22

İlk hızı 20 m/s olan araba 4 m/s^2 ivme ile yavaşlamaya başlıyor. Buna göre

a) 4 s sonraki hızını,

b) 4 s sonunda yaptığı yer değiştirmeyi bulunuz.

ÖRNEK 27



İlk hızı 10 m/s olan K arabası sabit ivme ile hızlanarak 50 m sonunda hızını 20 m/s'ye çıkarıyor. Arabanın ivmesini bulunuz.

ÇÖZÜM

Zamansız hız denklemi kullanılırsa

$v_s^2 = v_0^2 + 2 \cdot a \cdot \Delta x$

$20^2 = 10^2 + 2 \cdot a \cdot 50$

$a = 3$ m/s^2 bulunur.

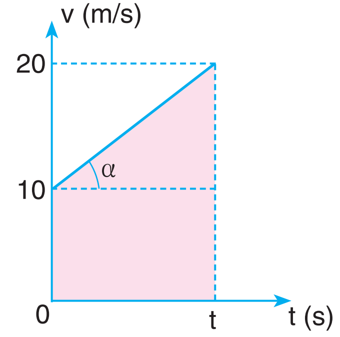
Sorunun çözümü arabaya ait hız-zaman grafiği kullanılarak da yapılabilir.

Hız-zaman grafiğinin altında kalan alan yer değiştirmeyi verir. Grafiğin altında kalan alan dik yamuk olduğu için,

$$\text{Alan} = \Delta x = \frac{10+20}{2} \cdot t$$

$$50 = 15 \cdot t$$

$$t = \frac{10}{3} \text{ s bulunur.}$$

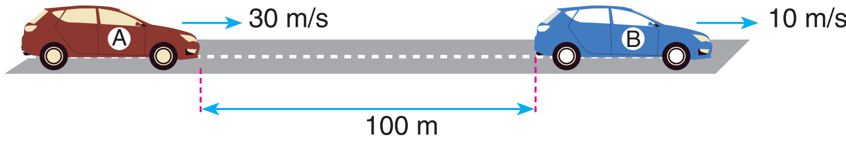


Yine hız-zaman grafiğinde eğim, ivmeyi vereceği için,

$$a = \tan\alpha = \frac{v_s - v_0}{t} = \frac{20-10}{\frac{10}{3}}$$

$a = 3\ m/s^2$ bulunur.

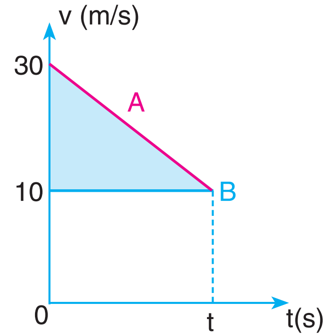
ÖRNEK 28



Aynı yönde sabit hızlarla giden A ve B arabalarının konumları şekildeki gibi iken A aracının sürücüsü frene basarak düzgün olarak yavaşlıyor. Çarpışma olmaması için A arabasının ivmesinin en küçük değerini bulunuz.

ÇÖZÜM

A arabasının B arabasına t sürede yetiştiği düşünülürse A arabasının B arabasına çarpmaması için t anındaki hızının en fazla 10 m/s olması gerekir. Arabaların hız-zaman grafiklerinden yararlanılarak yaptıkları yer değiştirmeler bulunabilir. İki arabanın 0-t zaman aralığındaki yer değiştirmelerinin farkı 100 m olmalıdır. Bu fark, grafikteki taralı alana eşittir.



Taralı alan = 100 m

$$100 = \frac{(30-10)\cdot t}{2} \text{ ise } t = 10 \text{ s olur.}$$

A arabası için

$$v_s = v_0 + a \cdot t \Rightarrow 10 = 30 + a \cdot 10$$

$a = -2\ m/s^2$ bulunur. Buradaki "–" işareti arabanın yavaşlaması anlamına gelir. $2\ m/s^2$den daha küçük ivme ile yavaşlarsa A, B'ye çarpar. Daha büyük bir ivme ile yavaşlarsa B arabasına yaklaşmadan önce hızı 10 m/s olur ve yine çarpışma olmaz.



Görsel 1.46 *Hız limitini gösteren trafik işaret levhası en fazla 50 km/h hızla gidilebileceğini ifade eder.*



Görsel 1.47 *Trafik lambalarına yaklaşan arabanın sürücüsü frene basarak arabasını durdurur.*



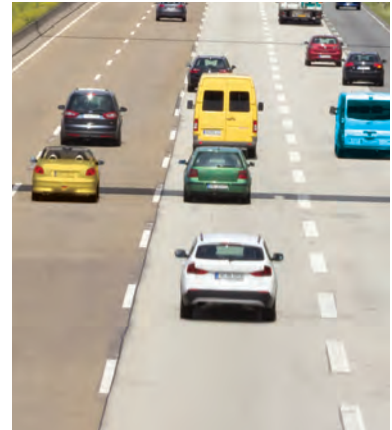
Görsel 1.48 *Düşey doğrultuda hareket eden top ivmeli hareket oluşturur.*

Trafikte 60 km/h hızla seyreden bir aracın sürücüsü Görsel 1.46'daki hız limitini gösteren bir işaret levhasını gördüğünde frene basarak aracını yavaşlatır. Görsel 1.47'deki kırmızı yanan trafik lambasını gördüğünde ise frene basarak aracını durdurur. Trafik lambası yeşil yandığında aracını tekrar harekete geçirir. Bu hareketler yataydaki ivmeli hareketlere örnek olarak verilebilir. Görsel 1.48'deki top yukarıdan aşağı düşerken ve yere çarpıp tekrar yükselirken düşey doğrultuda ivmeli hareket oluşturur. Tüm bu hareketler günlük hayatta karşılaşılan ivmeli hareketlerden birkaçına örnektir.

ÖRNEK 29

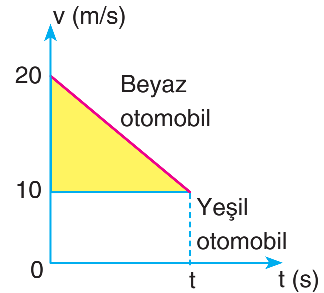
Görseldeki yeşil otomobil 10 m/s sabit hızla giderken 15 m arkasından 20 m/s hızla gelmekte olan beyaz otomobil frene basarak sabit ivme ile yavaşlamaya başlıyor. Çarpışma olmaması için beyaz otomobilin yavaşlama ivmesi en az kaç m/s² olmalıdır?

ÇÖZÜM



Beyaz otomobilin yeşil otomobile çarpmaması için ona yetiştiği anda hızı en fazla 10 m/s olmalıdır. Otomobillerin hız-zaman grafikleri yandaki gibidir.

Beyaz otomobil diğerine yetiştiği anda 15 m daha fazla yer değiştirme yapmış olur. Bu fark grafikteki taralı alana eşittir.



Taralı alan = 15 m

$$\frac{(20-10)\cdot t}{2} = 15$$

t = 3 s olur.

Beyaz otomobil için

$$v_s = v_0 + a \cdot t$$

$$10 = 20 + a \cdot 3$$

$$a = -\frac{10}{3} \text{ m/s}^2 \text{ bulunur.}$$

1.4.3. Hava Direncinin Olmadığı Ortamlarda Düşen Cisimler



Görsel 1.49 *Uçaktan atlayan paraşütçüler ivmeli hareket oluştururlar.*



Görsel 1.50 *Kum saati, yer çekimi etkisi ile çalışır. Kum taneleri düşerken hızlanır.*

Cisme etki eden net kuvvet sıfırdan farklı ve sabit ise cismin ivmesinin de sabit olduğunu ve cismin net kuvvet doğrultusunda bir boyutta sabit ivmeli hareket ettiğini öğrendik. Bu kuvvet her zaman yatay düzlemde olmayabilir. Uçaktan atlayan paraşütçü (Görsel 1.49), kum saatinin kumları (Görsel 1.50), trambolinde zıplayan çocuklar (Görsel 1.51), tramplenden atlayan sporcu (Görsel 1.52) yer çekimi kuvvetinin etkisi ile düşey düzlemde ivmeli hareket oluştururlar.



Görsel 1.51 *Trambolinde zıplayan çocuk bir aşağı bir yukarı hareket ederken ağırlık kuvveti etkisinde hızlanıp yavaşlar.*

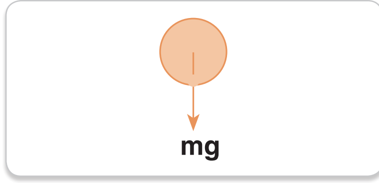


Görsel 1.52 *Tramplenden atlayan yüzücü suya çarpana kadar hızlanır.*



Görsel 1.53 *Belirli bir yükseklikten serbest düşmeye bırakılan cisim*

Görsel 1.53'teki gibi yerden belirli bir yükseklikten ilk hızsız olarak bırakılan topun, ağırlığı nedeniyle yaptığı harekete "**serbest düşme**" denir. Serbest düşmeye bırakılan herhangi bir cismin üzerine, ağırlık ve hava direnci olmak üzere iki kuvvet etki



Şekil 1.27 m kütleli cisme hava direnci ihmal edildiğinde yalnızca ağırlık etki eder.

eder. Hava direnci ihmal edilecek olursa cisme Şekil 1.27'deki gibi yalnızca ağırlık etki eder. Ağırlık yer çekimi ivmesi ile aynı yönlüdür. Newton İkinci Hareket Kanunu uygulanırsa

$\vec{F}_{net} = m\vec{a} = mg$ ve $\vec{a} = \vec{g}$ bulunur. Yer çekimi ivmesi Dünya'nın değişik yerlerinde farklı değerlere sahiptir. Ortalama olarak yaklaşık değeri 9,8 m/s^2 olup yönü yerin merkezine doğrudur.

Hava direncinin ihmal edildiği durumlarda daima $\vec{a} = \vec{g}$ olacağından bu cisim kütlesinden bağımsız olarak düşey düzlemde aşağı yönde $\vec{g}$ sabit ivmesi ile hızlanan hareket yapar. Örneğin havasız ortamda serbest düşmeye bırakılan tüy ve bilye, aynı ivme ile yani yer çekimi ivmesi ile hareket eder. Bu hareket temelde yataydaki sabit ivmeli hareket ile aynıdır. Bu nedenle sabit ivmeli harekette kullanılan tüm denklemleri bu harekete uygulamak mümkündür.



Okuma Parçası

EBA NEDİR?

Eğitim-öğretim sürecinde bilişim teknolojisi donanımlarını kullanarak etkin materyaller kullanmanız amacıyla Yenilik ve Eğitim Teknolojileri Genel Müdürlüğü tarafından tasarlanan Eğitim Bilişim Ağı (EBA) sınıf seviyelerine uygun, güvenilir ve incelemeden geçmiş doğru e-içerikleri bulabileceğiniz sosyal bir paylaşım alanıdır. Öğretmen ve öğrenciler başta olmak üzere eğitimin tüm paydaşları için tasarlanan EBA;

- Farklı, zengin ve eğitici içerikler sunmak,
- Bilişim kültürünü yaygınlaştırarak eğitimde kullanılmasını sağlamak,
- İçerikle ilgili ihtiyaçlarınıza cevap vermek,
- Sosyal ağ yapısıyla bilgi alışverişinde bulunmak,
- Zengin ve gittikçe büyüyen arşiviyle derslere katkı sağlamak,
- Bilgiyi öğrenirken aynı zamanda yeniden yapılandırabilmek ve bilgiden bilgi üretmek,
- Farklı öğrenme stillerine (sözel, görsel, sayısal, sosyal, bireysel, işitsel öğrenme) sahip öğrencileri de kapsamak,
- Bütün öğretmenleri ortak bir paydada buluşturarak eğitime el birliğiyle yön vermelerine ön ayak olmak,
- Teknolojiyi bir amaç olarak değil bir araç olarak kullanmak amacıyla tasarlanan sosyal bir eğitim paylaşım alanıdır.

Eğitim içeriği açısından zengin bu siteye www.eba.gov.tr adresinden erişebilir, video ve benzetimleri izleyerek ders çalışmayı daha eğlenceli, öğrenmeyi daha kalıcı hâle getirebilirsiniz.

Okuma Parçası

KAYNAK KİTAP NEDİR?

Başkalarının bilgi birikiminden ve düşüncelerinden yararlanılan her çalışmada (kitap, tez, makale, rapor, bildiri, ödev, web sayfası, vb) yararlanılan bilginin kaynağı, neyin nereden ödünç alındığı açıkça belirtilmelidir. Kaynak gösterme bilim-sanat etiğinin bir gereğidir. Kaynak gösterilmediği sürece, ortaya atılan düşüncenin yazara ait olduğu varsayılır. Fizik ve mühendislikte kullanılan temel kaynaklardan birisi de James Madison (Ceyms Medisın) Üniversitesi öğretim üyesi olarak görev yapmış Raymond Serway (Reymınd Sörvey)'in yazdığı "**Fen ve Mühendislik İçin Fizik**" kitabıdır.

Bu kitapta serbest düşmenin tanımı "Serbest düşen cisim, başlangıçtaki hareketi ne olursa olsun sadece yer çekimi etkisi ile düşen cisimdir. Yukarı doğru veya aşağı doğru atılan cisimler veya durgun hâlden bırakılan cisimlerin hepsi de harekete başladıkları andan itibaren serbest düşen cisimlerdir. Aşağı doğru düşen her cisim, başlangıçtaki hareketi ne olursa olsun, aşağı doğru bir ivme etkisinde kalır." şeklinde yapılmıştır.

Yatay düzlemde cismin yer değiştirmesi için Δx sembolü kullanılırken düşey düzlemde h sembolü kullanılır. Yatay düzlemde cismin ivmesi herhangi bir a değerini alırken düşey düzlemde ise hava direnci ihmal edilmek şartıyla g değerini almaktadır.

Yatay düzlemde düzgün hızlanan cisme ve serbest düşme yapan cisme ait denklemler arasındaki benzerlik Tablo 1.4'te gösterilmiştir.

Tablo 1.4 *a) Yatay düzlemde düzgün hızlanan cisme ait denklemler. b) Serbest düşme yapan cisme ait denklemler*

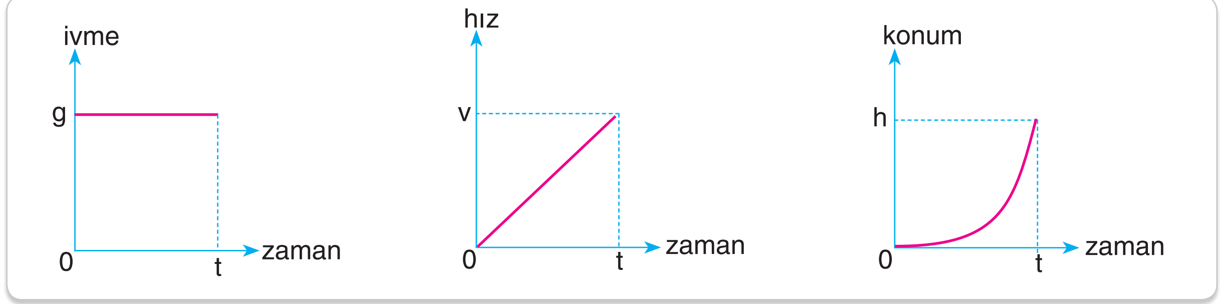
Yatay düzlemde düzgün hızlanan cismin yer değiştirmesi	$\Delta x = v_0 \cdot t + \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2$
Yatay düzlemde düzgün hızlanan cismin herhangi bir t anındaki hızı	$v_s = v_0 + a \cdot t$
Yatay düzlemde düzgün hızlanan cismin zaman içermeyen hız denklemi	$v_s^2 = v_0^2 + 2 \cdot a \cdot \Delta x$

a)

Serbest düşme yapan cismin yer değiştirmesi	$h = \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2$
Serbest düşme yapan cismin herhangi bir + anındaki hızı	$v_s = g \cdot t$
Serbest düşme yapan cismin zaman içermeyen hız denklemi	$v_s^2 = 2 \cdot g \cdot h$

b)

Tablo 1.4'teki hareket denklemlerinde serbest düşmede cismin ilk hızı, $v_0 = 0$ olduğu unutulmamalıdır. Denklemlerde v_s, cismin herhangi bir t anındaki hızıdır. Serbest düşme yapan cisimlere ait ivme-zaman, hız-zaman ve konum-zaman grafikleri Grafik 1.10'da verilmiştir.



Grafik 1.10 *Serbest düşmeye ait ivme-zaman, hız-zaman ve konum-zaman grafikleri*

ÖRNEK 30



45 m yüksekliğe sahip görseldeki kulenin tepesinden ilk hızsız olarak bırakılan taşın

a) Yere düşme süresini,

b) Yere çarpma hızını bulunuz. ($g = 10\ m/s^2$ alınız. Hava direncini ihmal ediniz.)

ÇÖZÜM

a) Hava direnci ihmal edildiği için taş yer çekimi ivmesi ile hızlanır. İlk hızı sıfır ve ivmesi g olan bu ivmeli harekette taşın yaptığı yer değiştirme,

$h = \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2$ ile bulunur.

Taşın bırakıldığı yere göre yer değiştirmesi

$h = 45$ m olur.

Buna göre

$h = \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2 \Rightarrow 45 = \frac{1}{2} \cdot 10 \cdot t^2 \Rightarrow t^2 = 9$ olur ve bu eşitliğin kökleri $t_1 = +3$ s, $t_2 = -3$ s bulunur. Zaman negatif değerler alamayacağı için $t = 3$ s olur.

b) Taşın ilk hızı $v_0 = 0$ ve yere düşme süresi 3 s olduğu için

$v_s = g \cdot t = 10 \cdot 3 = 30$ m/s bulunur.

Aynı problemi zamansız hız denklemi kullanarak

$v_s^2 = 2 \cdot g \cdot h$

$v_s^2 = 2 \cdot 10 \cdot 45$

$v_s^2 = 900$

$v_s = 30$ m/s bulunur.

Bu problem grafik bilgisi kullanılarak da çözülebilir.

Hız-zaman grafiğinin eğimi ivmeyi, altında kalan alan yer değiştirmeyi verir.

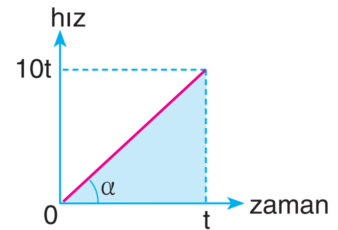
Serbest düşme hareketinde hava direncinin ihmal edildiği durumlarda, ivme yer çekimi ivmesine eşit olacağından

eğim $= \tan\alpha = g$

$\frac{v_s}{t} = g$

$v_s = 10t$ olur.

Hız-zaman grafiği $v_s = 10t$ değeri kullanılarak yandaki gibi çizilir.



Bu grafiğin altında kalan alan yer değiştirmeyi vereceği için,

Alan = h

$\frac{10t \cdot t}{2} = 45 \Rightarrow 5t^2 = 45$

$t = 3$ s bulunur.

Buna göre

$v_S = 10t$

$= 10 \cdot 3$

$= 30$ m/s bulunur.



Sıra Sizde 1.23

Hava direncinin ihmal edildiği bir ortamda yerden belirli bir yükseklikten serbest bırakılan cisim 6t sürede yere düşüyor. Cismin serbest bırakıldıktan sonraki 3t sürede yer değiştirmesi h_1, sonraki 2t sürede yer değiştirmesi h_2 ve son t süredeki yer değiştirmesi h_3 olduğuna göre bu yer değiştirmeleri büyükten küçüğe doğru sıralayınız.

1.4.4. Hava Direnci



Görsel 1.54 *Paraşütlü, hava direnci etkisi ile yere güvenli iniş yapabilir.*

Şimdiye kadar olan bölümde hava direncini ihmal etme yaklaşımını kullanarak düşey düzlemde bir boyutta sabit ivmeli hareketi inceledik. Oysa belirli bir yükseklikten düşen bütün cisimler Dünya'nın atmosferini oluşturan hava molekülleri ile çarpışma yapar. Bu çarpışmalar sonucunda cisimlere, 10. sınıfta öğrendiğimiz sıvıların kaldırma kuvvetine benzer bir kuvvet etki eder. Hava ortamında cisme etki eden bu kuvvete **"hava direnci"** veya **"hava sürtünmesi"** denir. Görsel 1.54'teki paraşütün ağırlığı bu hava direnci etkisi ile dengelenirken hızının sürekli artması engellenir. Hava direncinden dolayı oluşan kuvvet, harekete zıt yönlü olduğundan serbest düşme yapan hareketlinin ivmesinin azalmasına neden olur.

Hava direncine etki eden değişkenleri tespit etmek için Etkinlik 1.2'yi yapınız.



Etkinlik 1.2

Hava Direnci

Amacı: Serbest düşme hareketinde hava direncinin bağlı olduğu değişkenleri tespit etmek

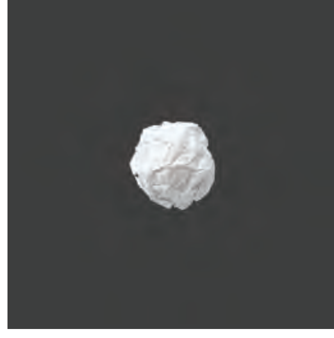
Araç Gereçler

- 2 adet A4 kâğıt
- 2 adet dikdörtgenler prizması şeklinde özdeş kutu

Etkinliğin Basamakları

- A4 kâğıtlarından birini buruşturup diğerini buruşturmadan aynı yükseklikten aynı anda bırakıp yere düşme sürelerini gözlemleyiniz.
- Kutuları yüksekçe bir yerden bırakınız. Fakat kutulardan birinin en geniş yüzeyi hareket yönüne dik iken diğerinin en dar yüzeyi harekete dik olsun. Bu hâlde bırakılan iki kutunun yere düşme sürelerini karşılaştırınız.





Sonuca Varalım

1. Aynı ağırlıktaki A4 kâğıtlarının şekilleri ile yere düşme süreleri arasında nasıl bir ilişki olabilir?

2. Aynı ağırlıktaki karton kutuların bırakılma şekilleri ile yere düşme süreleri arasında nasıl bir ilişki olabilir?

Etkinlikte görüldüğü gibi hava ortamı içinde serbest bırakılan maddeler, havasız ortamdaki gibi aynı anda yere düşmezler.

Bunun sebebi etkinlikte kullanılan maddelere etki eden hava direncinin farklı olmasıdır. Hava tarafından uygulanan bu direnç kuvvetinin büyüklüğü:

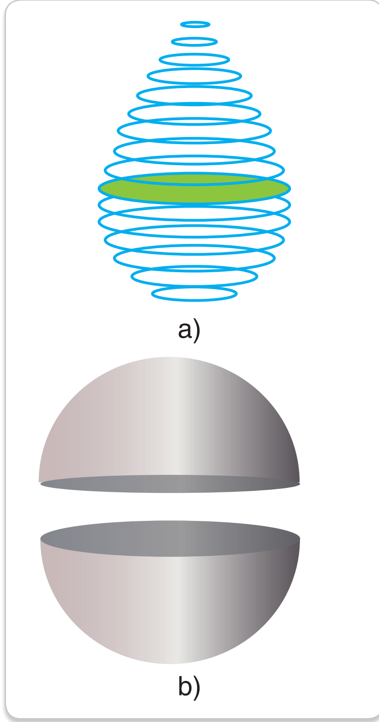
1. Cismin biçimine ve içinde hareket ettiği havanın yoğunluğuna bağlıdır. Bu özellik hava direnci katsayısı olarak tanımlanır ve k ile gösterilir.

Hesaplanan bazı k katsayıları Tablo 1.5'te gösterilmiştir.

Tablo 1.5 *Bazı cisimlere etki eden hava direnci katsayısı*

Hava direnci etkisindeki cisim	Hava direnci katsayısı (k)
Futbol topu	0,29
İçi boş yarım küre	1,63
Paraşüt	1,70

2. Cismin hareketine dik doğrultudaki en büyük kesit alanı ile doğru orantılıdır. Yaptığınız etkinlikte aynı büyüklükteki iki kutudan büyük kesit alanı harekete dik doğrultuda olacak şekilde bırakılanın daha uzun sürede yere düştüğünü gözlemlediniz. Bu durum



Şekil 1.28 a) *Yağmur damlasının harekete dik doğrultudaki en büyük kesit alanı taralı alandır.* ***b)*** *Küre için harekete dik en büyük kesit alan, küre ortadan bölündüğünde elde edilen dairesel alandır.*

hava direncinin harekete dik doğrultudaki kesit alanı ile ilişkili olduğunu gösterir. Şekil 1.28.a' da yağmur damlasının, Şekil 1.28.b'de küresel cismin kesit alanları gösterilmiştir. Hava direnci, cismin hareket doğrultusuna dik olan en büyük kesit alanı ile doğru orantılıdır.

3. Cismin sahip olduğu hızın karesi ile doğru orantılıdır.

Hava ile sürtünme sonucunda cisme etki eden sürtünme kuvvetinin büyüklüğü, uygun laboratuvar şartlarında hassas ölçümler ve yüksek matematiksel işlemler yapılarak bulunabilir. Yapılan bu ölçüm ve işlemler sonucunda hava direnci kuvvetinin $F_d = k \cdot A \cdot v^2$ bağıntısı ile bulunabileceği gösterilmiştir. Bu bağıntıda; k, hava direnci katsayısı olup farklı şekiller için farklı değerlere sahiptir. A, cismin hareket yönüne dik doğrultudaki en büyük kesit alanıdır. v, cismin hızıdır.

1.4.5. Limit Hız

Hava sürtünmesini ihmal ederek 4,5 km yükseklikteki bir buluttan düşen yağmur damlalarının hızını hesaplayabilir misiniz? Yağmur damlası serbest düşme yapacağı için zamansız hız denklemini kullanarak $v^2 = 2 \cdot g \cdot h$; $v^2 = 2 \cdot 10 \cdot 4500$ ve $v = 300$ m/s bulunur. Ancak yağmur damlaları yere bu hızla ulaşmaz. Yağmur taneleri eğer bu hızla yere çarpsaydı yeryüzünde yaşam olmazdı. Hava sürtünmesinden dolayı yağmur tanelerinin hızı belirli bir değere ulaştıktan sonra daha fazla artmaz. Hava direncine sahip ortamda, cisimlerin ulaşabildiği en büyük hıza "**limit hız**" denir. Hava direnci sayesinde limit hızlarına ulaşan Görsel 1.55'teki yağmur taneleri zararsız bir şekilde yere iner.



Görsel 1.55 *Yağmur damlaları hava direnci etkisi ile yere limit hıza ulaşarak iner.*

Görsel 1.56'daki hızlı tren, hem raylardaki sürtünme hem de hava sürtünmesi etkisinde limit hıza ulaşır. Bu trenin limit hızının büyük olabilmesi için hava sürtünmesinin azaltılması gerekir. Görsel 1.57'deki uçakta da hava direnci hızın artmasına engel olur. Hızlı tren ve uçak gibi hızlı araçlarda olduğu gibi otomobillerde de limit hızın yüksek olabilmesi için özel tasarımlar yapılır.



Görsel 1.56 *Hızlı tren gibi ulaşım araçlarında, hava sürtünmesinin en aza indirilmesi için gerekli tasarımlar yapılır.*



Görsel 1.57 *Uçakların tasarımı yapılırken hava sürtünmesine dikkat edilir.*

Şimdi hava ortamında hareketlilere etki eden hava direncini ve limit hızı inceleyeceğiz. Şekil 1.29'daki gibi ağırlık ve hava sürtünmesi etkisinde hareket eden cismin,

$t = 0$ anındaki hızı $v_0 = 0$ olduğu için cisme etki eden net kuvvet yalnızca cismin ağırlığı olup $\vec{F}_{net} = m \cdot \vec{g} = m \cdot \vec{a}$ ve $\vec{a} = \vec{g}$ olur. Cisim aşağı yönde yer çekimi ivmesi ile ivmeli harekete başlar. Cisim harekete başlar başlamaz sürtünme de başlar.

Limit hızın büyüklüğünü bulabilmek için Şekil 1.29'daki gibi $t = 0$ anında serbest düşmeye bırakılan cismin hareketini inceleyelim.

t_1 anında hızı v ise cisme ağırlıkla birlikte hava sürtünmesinden dolayı $F_d = k \cdot A \cdot v^2$ büyüklüğünde bir direnç kuvveti etki eder. $F_{net} = m \cdot g - k \cdot A \cdot v^2 = m \cdot a$ olur ki bu durumda $a < g$ olur. Cismin ivmesi $a > 0$ olduğu için hızlanmaya devam eder. Cisim hızlanmaya devam ettikçe direnç kuvveti de artar.

t_2 anında $F_d = m \cdot g$ ağırlığına eşittir. Buna göre

$F_{net} = m \cdot g - F_d = 0$ olur.

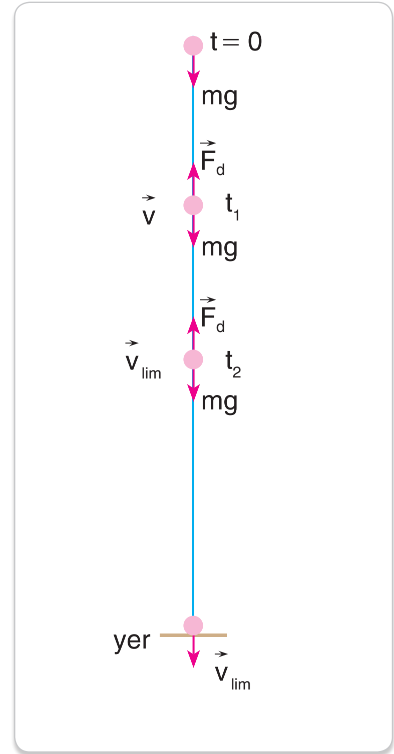
Cismin bu andaki ivmesi $a = 0$ olacağı için hızı artmaz. $F_d = m \cdot g$ olduğu anda artık cisim ulaşabileceği en büyük hıza yani limit hıza ulaşmıştır. Bu andan itibaren cisim v_{lim} hızı ile yere ulaşır.

$\vec{F}_d = m \cdot \vec{g}$ olduğu anda $F_{net} = 0$ ve $v = v_{lim}$ olur.

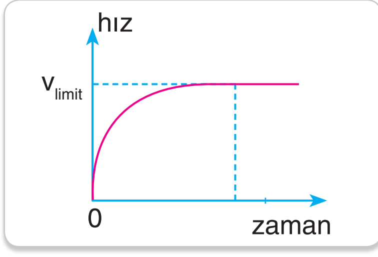
Buna göre

$$m \cdot g = k \cdot A \cdot v_{lim}^2$$

$$v_{lim}^2 = \frac{mg}{kA} \text{ ve } v_{lim} = \sqrt{\frac{mg}{kA}} \text{ bulunur.}$$

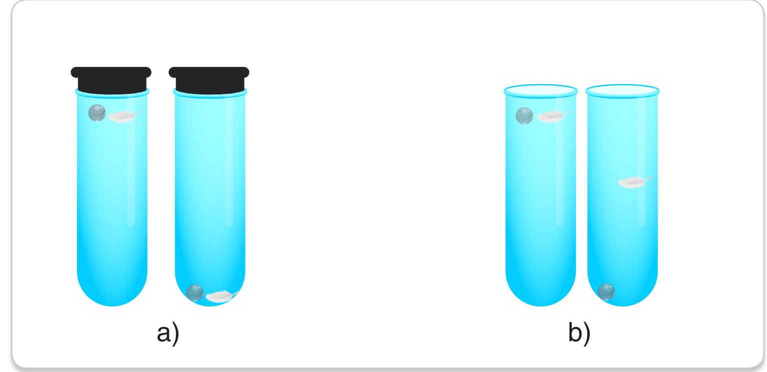


Şekil 1.29 *Hava sürtünmeli ortamda hareket eden cismin hareketinin analiz edilmesi*



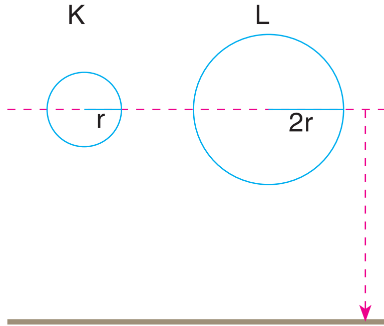
Grafik 1.11 *Hava ortamında serbest düşen cisme ait hız-zaman grafiği*

Şekil 1.30.a'daki gibi bir bilye ve kuş tüyü hava sürtünmesiz bir ortamda serbest düşmeye bırakılırsa aynı anda ve aynı hızla yere çarpar. Şekil 1.30.b'deki gibi hava sürtünmesinin bulunduğu ortamda ise kuş tüyü yere bilyeden sonra ulaşır. Hava sürtünmesi olan bir ortamda serbest düşmeye bırakılan cismin hız-zaman grafiği Grafik 1.11'de çizilmiştir.



Şekil 1.30 *a) Havasız ortamda bilye ile kuş tüyünün hareketinin karşılaştırılması* *b) Hava bulunan ortamda bilye ile kuş tüyünün hareketinin karşılaştırılması*

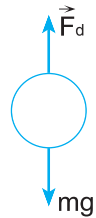
ÖRNEK 31



Yarıçapları r ve 2r olan eşit kütleli K ve L küresel cisimleri hava olan ve olmayan ortamlarda serbest düşmeye bırakılıyor. Cisimlerin her iki ortamdaki yere çarpma hızlarını karşılaştırınız. (Hava ortamında cisimler limit hızla yere çarpmaktadır.)

ÇÖZÜM

Hava olmayan ortamda cisimlerin her ikisine de sadece yer çekimi kuvveti etki eder. Bu nedenle cisimler yer çekimi ivmesiyle hareket ederler. Cisimlerin yere çarpma hızları şekillerine bağlı değildir. Yere eşit büyüklükte hızlarla çarparlar.



Hava ortamında ise cisimlere ağırlıkları ve hava direnç kuvveti etki eder. Bu nedenle cisimler yerçekimi ivmesinden daha küçük değerdeki ivmelerle hareket ederler. Bir süre sonra cisimler limit hızlarına ulaşırlar.

Cisimler küre şeklinde ve aynı ağırlıkta olduklarından limit hızları cisimlerin kesit alanlarına göre karşılaştırılabilir. K ve L cisimlerinin kesit alanları,

$A_K = \pi r^2$ $\qquad$ $A_L = \pi \cdot (2r)^2 = 4\pi r^2$ bulunur.

$V_{lim} = \sqrt{\dfrac{mg}{kA}}$ bağıntısına göre limit hız büyüklüğü kesit alanı ile ters orantılıdır. Buna göre K cisminin limit hızı, L cismininkinden daha büyüktür.



Sıra Sizde 1.24

Hava ortamında h yüksekliğinden serbest bırakılan bir cisim limit hızla yere çarpmaktadır. Buna göre aşağıdaki soruları cevaplandırınız.

a) Cisim limit hıza ulaşıncaya kadar ivmesi nasıl değişir? Açıklayınız.

b) Cismin hareket boyunca maksimum hız büyüklüğüne etki eden değişkenleri açıklayınız.

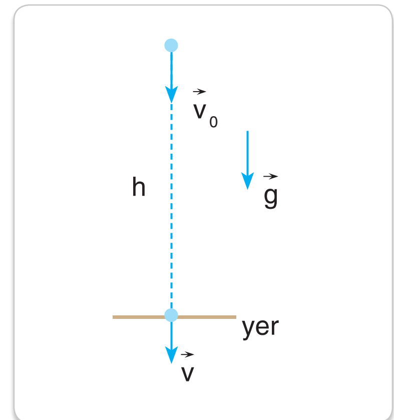
1.4.6 Düşey Doğrultuda Atış Hareketleri

Bir kulenin tepesinden serbest düşmeye bırakılan taş yer çekimi ivmesi ile hızlanarak bir süre sonra yere ulaşır. Bu taşın daha kısa sürede yere ulaşmasını sağlamak için taş, aşağı yönde ve yere dik olarak belirli bir ilk hıza sahip olacak şekilde atılabilir.

Bu hareket sırasında taş yine bir boyutta ivmeli hareket yapar. Fakat serbest düşmeden faklı olarak bir ilk hıza sahiptir. Şimdi bu şekilde atılan taşın hareketini inceleyeceğiz.

Şekil 1.31'deki gibi belli bir yükseklikten v_0 ilk hızı ile aşağı yönde atılan cismin hareketine "**yukarıdan aşağıya düşey atış hareketi**" denir.

Bu cisim hava direnci ihmal edildiğinde yalnızca ağırlık etkisinde hareket edeceği için $\vec{F}_{net} = m\vec{a} = m\vec{g}$ ve $\vec{a} = \vec{g}$ bulunur ki bu durum bize yukarıdan aşağıya düşey atış hareketinde de ivmenin kütleden bağımsız olduğunu ve yer çekimi ivmesine eşit olduğunu gösterir. Serbest düşmede olduğu gibi yer çekimi ivmesi ile hızlanarak hareket eder. Cismin ilk hızı sıfırdan farklı olduğu için hareket denklemleri Tablo 1.6'daki gibi olur. Cismin ilk hızı ve ivme aynı yöndedir.



***Şekil 1.31** Yerden h kadar yüksekten aşağı yönde ilk hızla atılan taş bir boyutta ivmeli hareket oluşturur.*

Tablo 1.6 a) Yatay düzlemde düzgün hızlanan cisme ait denklemler.

Yatay düzlemde düzgün hızlanan cismin yer değiştirmesi	$\Delta x = v_0 \cdot t + \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2$
Yatay düzlemde düzgün hızlanan cismin herhangi bir t anındaki hızı	$v_s = v_0 + a \cdot t$
Yatay düzlemde düzgün hızlanan cismin zaman içermeyen hız denklemi	$v_s^2 = v_0^2 + 2 \cdot a \cdot \Delta x$

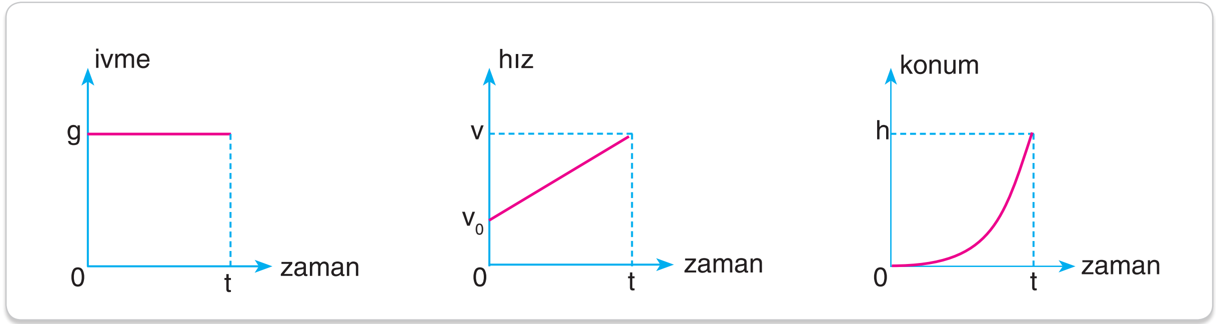
a)

b) Yukarıdan aşağıya düşey atış hareketi yapan cisme ait denklemler

Yukarıdan aşağıya düşey atış hareketi yapan cismin yer değiştirmesi	$h = v_0 \cdot t + \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2$
Yukarıdan aşağıya düşey atış hareketi yapan cismin herhangi bir t anındaki hızı	$v_s = v_0 + g \cdot t$
Yukarıdan aşağıya düşey atış hareketi yapan cismin zaman içermeyen hız denklemi	$v_s^2 = v_0^2 + 2 \cdot g \cdot h$

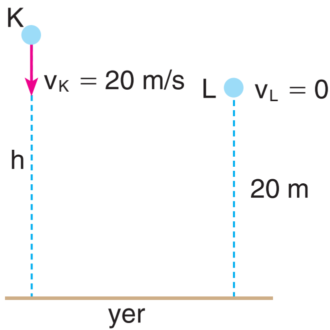
b)

Yukarıdan aşağıya düşey atış hareketine ait ivme-zaman, hız-zaman ve konum-zaman grafikleri Grafik 1.12'de verilmiştir.



***Grafik 1.12** Yukarıdan aşağıya düşey atış hareketine ait ivme-zaman, hız-zaman ve konum-zaman grafikleri*

ÖRNEK 32



Sürtünmesi önemsiz ortamda K topu h yüksekliğinden 20 m/s ilk hızla aşağı yönde düşey atıldığı anda, L topu 20 m yükseklikten serbest bırakılıyor. K topu, L topundan 1 s sonra yere çarptığına göre K'nin atıldığı h yüksekliğini bulunuz. ($g=10\ m/s^2$ alınız.)

ÇÖZÜM

L topu serbest bırakıldığı için,

$$h = \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2$$

$$20 = \frac{1}{2} \cdot 10 \cdot t^2$$

$t^2 = 4$ olur.

t = 2 s ve t = – 2 s çıkmaktadır. Fakat zaman "–" değerler alamayacağı için t = 2 s bulunur. Bu, L topunun yere çarpması için geçen süredir. K, L'den 1 s sonra yere çarpmıştır. K topunun yere çarpma süresi 3 s olur ve K yukarıdan aşağıya düşey atış hareketi yaptığı için,

$$h = v_K \cdot t + \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2$$

$$h = 20 \cdot 3 + \frac{1}{2} \cdot 10 \cdot 3^2$$

$h = 105$ m bulunur.



Sıra Sizde 1.25

Bir kuyuya aşağı yönde 5 m/s ilk hızla elindeki taşı düşey olarak atan çocuk, taşın 2 s sonra suya çarptığını gözlemliyor. Buna göre;

a) Suyun üst yüzeyinin taşın atıldığı yere göre derinliğini,

b) Taşın suya çarptığı andaki hızını bulunuz. (Hava direncini ihmal ediniz ve g =10 m/s^2 alınız.)

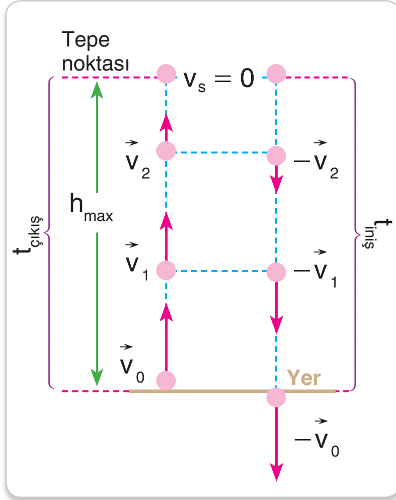


Görsel 1.58 *Hakemin yaptığı hava atışında top aşağıdan yukarıya düşey atış hareketi yapar.*

Görsel 1.58'deki gibi hakemin topu belirli bir hızla yukarı yönde düşey olarak atması ile top düşeyde yer çekimi ivmesi etkisinde hareket eder. Top yukarı yönde bir ilk hıza sahiptir ve bu hız vektörü, yer çekim ivmesi vektörü ile zıt yönlüdür. Bu şekilde



Görsel 1.59 Trambolinde zıplayan çocuk zıpladığı anda yukarı yönde atış hareketine benzer bir hareket oluşturur.



Şekil 1.32 Hava direnci ihmal edilmek üzere aşağıdan yukarıya düşey atış hareketinde çıkış ve iniş hareketi aynı doğrultudadır.

hareket eden cismin hareketine "**aşağıdan yukarıya düşey atış hareketi**" denir. Hava direnci ihmal edilmek üzere top yalnızca ağırlık etkisinde hareket edeceği için ivmesi, yer çekimi ivmesi olur. Hız ve ivme vektörleri zıt yönlü olduğu için top yükselirken $\vec{g}$ ivmesi ile yavaşlar, bir süre sonra hızı bir an için sıfır olur. Top bu anda çıkabileceği en yüksek noktaya ulaşmıştır ve bu yükseklik "**maksimum yükseklik (h_{max})**", bu yüksekliğe çıkana kadar geçen süre ise "**çıkış süresi ($t_{çıkış}$)**" olarak adlandırılır. Top maksimum yüksekliğe ulaştığı andan itibaren serbest düşme hareketi yapar. Bu hareketin çıkış ve iniş bölümleri ayrı ayrı incelenebilir.

Görsel 1.59'daki gibi trambolinde zıplayan çocuğun hareketi aşağıdan yukarıya düşey atış hareketine örnek olarak verilebilir. Çocuk yukarı yönde giderken hızı azalır, aşağı yönde giderken ise hızı artar.

Şekil 1.32'deki gibi aşağıdan yukarıya düşey olarak atılan bir topun hareketini inceleyelim. Topun v_0, v_1 ve v_2 hızları karşılaştırılacak olursa $v_0 > v_1 > v_2$ olur. Topun aynı yükseklikten geçerken sahip olduğu hızların büyüklükleri aynı fakat yönleri zıttır ve atıldığı ilk hızla yere çarpar.

h_{max} topun çıkabileceği maksimum yükseklik,

$t_{çıkış}$ yerden tepe noktasına çıkana kadar geçen süre,

$t_{iniş}$ tepe noktasından yere düşene kadar geçen süre,

$t_{uçuş}$ havada kalma süresi olmak üzere

$t_{iniş} = t_{çıkış}$ ve $t_{uçuş} = t_{çıkış} + t_{iniş}$ olur.

Top aşağıdan yukarıya doğru çıkarken, yer çekimine zıt yönde hareket eder. Tepe noktasına kadar yavaşlar. Topun herhangi bir anda sahip olduğu hız, $v_s = v_0 - g \cdot t$ şeklinde yazılır.

$t = t_{çıkış}$ olduğu anda sahip olacağı hız sıfır olduğundan

$$v_s = v_0 - g \cdot t_{çıkış}$$

$$0 = v_0 - g \cdot t_{çıkış}$$

$$t_{çıkış} = \frac{v_0}{g}$$

$$t_{uçuş} = 2 \cdot t_{çıkış}$$

$$t_{uçuş} = \frac{2v_0}{g}$$ bulunur.

Top, tepe noktasına ulaştığında $v_s = 0$ ve $h = h_{max}$ olur. Bir boyutta sabit ivmeli harekete ait zamansız hız denklemi kullanılırsa

$$v_s^2 = v_0^2 - 2 \cdot g \cdot h$$

$$0 = v_0^2 - 2 \cdot g \cdot h$$

$$h_{max} = \frac{v_0^2}{2g} \text{ elde edilir.}$$

Yatay düzlemde sabit $\vec{a}$ ivmesi ile hareket eden bir cismin hareket denklemleri ile düşey düzlemde $\vec{g}$ sabit ivmesi ile hareket eden cismin hareket denklemleri Tablo 1.7'de karşılaştırılmıştır.

Tablo 1.7 *a) Yatay düzlemde düzgün yavaşlayan cisme ait denklemler.* *b) Aşağıdan yukarıya düşey atış hareketi yapan cisme ait denklemler*

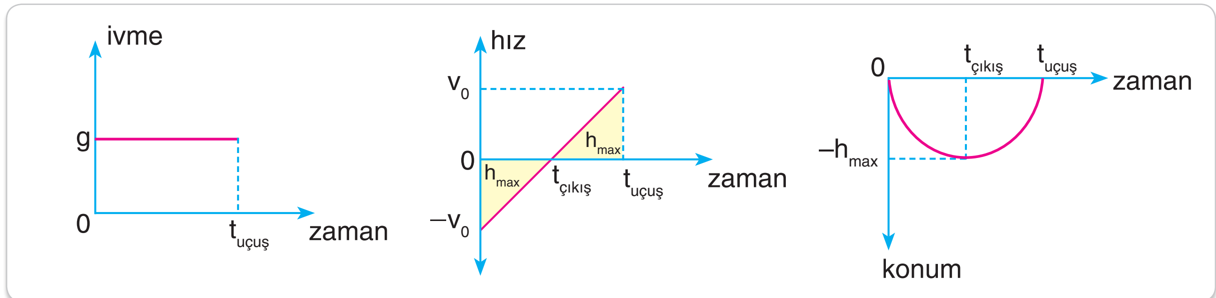
Yatay düzlemde düzgün yavaşlayan cismin yer değiştirmesi	$\Delta x = v_0 \cdot t - \frac{1}{2} a \cdot t^2$
Yatay düzlemde düzgün yavaşlayan cismin herhangi bir t anındaki hızı	$v_s = v_0 - a \cdot t$
Yatay düzlemde düzgün yavaşlayan cismin zaman içermeyen hız denklemi	$v_s^2 = v_0^2 - 2 \cdot a \cdot \Delta x$
	–
	–

a)

Aşağıdan yukarıya düşey atış hareketi yapan cismin yer değiştirmesi	$h = v_0 \cdot t - \frac{1}{2} g t^2$
Aşağıdan yukarıya düşey atış hareketi yapan cismin herhangi bir t anındaki hızı	$v_s = v_0 - g \cdot t$
Aşağıdan yukarıya düşey atış hareketi yapan cismin zaman içermeyen hız denklemi	$v_s^2 = v_0^2 - 2 \cdot g \cdot h$
Aşağıdan yukarıya düşey atış hareketi yapan cismin havada kalma (uçuş) süresi	$t_{uçuş} = \frac{2v_0}{g}$
Aşağıdan yukarıya düşey atış hareketi yapan cismin çıkabileceği maksimum yükseklik	$h_{max} = \frac{v_0^2}{2g}$

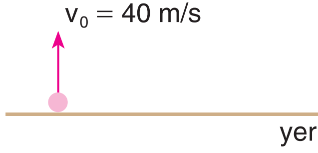
b)

Aşağıdan yukarıya düşey atış hareketine ait ivme-zaman, hız-zaman ve konum-zaman grafikleri Grafik 1.13'teki gibi olur.



Grafik 1.13 *Aşağıdan yukarıya düşey atış hareketine ait ivme-zaman, hız-zaman ve konum-zaman grafikleri*

ÖRNEK 33



Hava direncinin ihmal edildiği bir ortamda aşağıdan yukarıya düşey doğrultuda 40 m/s hızla atılan taşın

a) 2 s sonraki hızını,

b) 6 s sonraki hızını,

c) 2 s sonra yerden yüksekliğini,

ç) 6 s sonra yerden yüksekliğini,

d) Çıkabileceği maksimum yüksekliği,

e) Havada kalma süresini bulunuz. ($g = 10$ m/s^2 alınız.)

ÇÖZÜM

a) Yukarı yönde düşey atılan cismin herhangi bir anda sahip olduğu hız,

$v_s = v_0 - g \cdot t$ bağıntısı ile bulunur. Bu taşın 2 s sonraki hızı,

$v_s = 40 - 10 \cdot 2$

$v_s = 20$ m/s olur.

Hızın "+" işaretli olması taşın hâla yukarıya doğru hareket ettiğini gösterir.

b) Taşın 6 s sonraki hızı,

$v_s = v_0 - g \cdot t$

$v_s = 40 - 10 \cdot 6$

$v_s = -20$ m/s olur.

Hızın "–" işaretli olması taşın bu anda aşağı yönde hareket ettiğini anlatır.

c) Taşın 2 s sonra yerden yüksekliği,

$$h = v_0 \cdot t - \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2$$

$$= 40 \cdot 2 - \frac{1}{2} \cdot 10 \cdot 2^2$$

$$= 60 \text{ m olur.}$$

Sonucun "+" olması atıldığı düzeyden 60 m yüksekte olduğunu anlatır.

ç) Taşın 6 s sonra yerden yüksekliği,

$$h = v_0 \cdot t - \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2$$
$$= 40 \cdot 6 - \frac{1}{2} \cdot 10 \cdot 6^2$$
$$= 60 \text{ m olur.}$$

Taş 6. s sonunda atıldığı düzeyden 60 m yüksektedir. Yani taş hem 2. saniyede hem de 6. saniyede yerden 60 m yükseklikte olur.

d) Taşın çıkabileceği maksimum yükseklik,

$$h_{max} = \frac{v_0^2}{2g}$$
$$= \frac{40^2}{2 \cdot 10}$$
$$= \frac{1600}{20}$$
$$= 80 \text{ m olur.}$$

e) Taşın havada kalma süresi,

$$t_{uçuş} = \frac{2v_0}{g}$$
$$t_{uçuş} = \frac{2 \cdot 40}{10}$$
$$t_{uçuş} = 8 \text{ s'dir.}$$



Sıra Sizde 1.26

Yerden yukarı yönde düşey olarak 80 m/s hızla atılan taşın

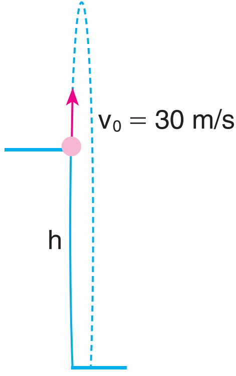
a) 3. s sonundaki hızını ve yerden yüksekliğini,

b) 10. s sonundaki hızını ve yerden yüksekliğini,

c) Havada kalma süresini,

ç) Çıkabileceği maksimum yüksekliği bulunuz.

(g = 10 m/s^2 alınız. Hava direncini ihmal ediniz.)



ÖRNEK 34

Bir çocuk uçurumun kenarında iken elindeki taşı 30 m/s hızla yukarı yönde fırlatıyor. Taş atıldıktan 8 s sonra uçurumun zeminine düştüğüne göre;

a) Uçurumun yüksekliğini,

b) Taşın yere çarpma hızını bulunuz.

(g = 10 m/s² alınız. Hava direncini ihmal ediniz.)

ÇÖZÜM

a) Yukarı yönde bir ilk hızla atılan cisim için yer değiştirme;

$h = v_0 \cdot t - \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2$ bağıntısı ile bulunur. Buna göre

$h = 30 \cdot 8 - \frac{1}{2} \cdot 10 \cdot 8^2$

$= -80$ m bulunur.

Sonuç "–" işaretli olduğu için taş, atılma düzeyine göre 80 m aşağıdadır.

b) Taşın yere çarpma hızı,

$v_s = v_0 - g \cdot t$

$v_s = 30 - 10 \cdot 8$

$v_s = -50$ m/s bulunur.

Sonuç "–" işaretli olduğu için hızın yönü aşağıya doğrudur.

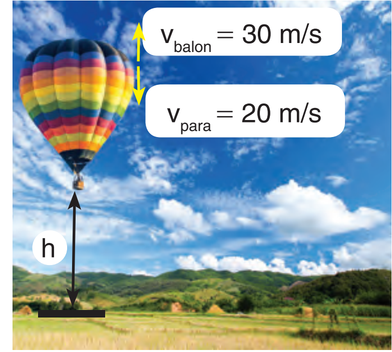
ÖRNEK 35

30 m/s sabit hızla yükselen balondan, balona göre 20 m/s ilk hızla aşağı yönde düşey atılan metal para 4 s sonra yere düşüyor. Buna göre;

a) Balonun paranın atıldığı andaki yerden yüksekliğini,

b) Balonun paranın yere düştüğü andaki yerden yüksekliğini bulunuz. (g = 10 m/s² alınız. Hava direncini ihmal ediniz.)

ÇÖZÜM



a) Para balona göre 20 m/s'lik hızla aşağı yönde atılmıştır. Fakat eylemsizliğinden dolayı balondan atıldığı anda yukarı yönde 30 m/s'lik bir hızı vardır. Para bu iki hareketin etkisi ile yere göre 10 m/s büyüklüğünde bir hızla yukarı yönde düşey atış hareketi yapar.

$h = v_0 \cdot t - \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2$

$h = 10 \cdot 4 - \frac{1}{2} \cdot 10 \cdot 4^2 = -40$ m bulunur. "–" işareti balonun, paranın atıldığı konuma göre, 40 m aşağıda olduğunu gösterir. O hâlde para atıldığı anda balon yerden 40 m yüksekliktedir.

b) Balon sabit hızla hareket ettiği için 4 saniyede,

$x = v_{balon} \cdot t$

$x = 30 \cdot 4 = 120$ m daha yükselir.

Para atıldığı anda yerden 40 m yükseklikte olduğu için cisim yere düştüğü anda balon yerden $40 + 120 = 160$ m yükseklikte olur.

ÖRNEK 36

Hava sürtünmesinin önemsenmediği bir ortamda yerden 180 m yükseklikten serbest düşmeye bırakılan elmanın yere çarpmadan önceki son 2 saniyede aldığı yolu bulunuz.

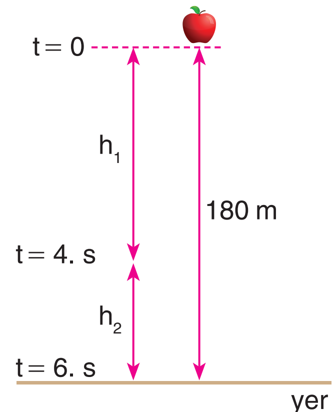
($g=10$ m/s^2 alınız.)

ÇÖZÜM

Elma serbest düşmeye bırakıldığı için yere ulaşma süresi $h = \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2$ denkleminden bulunur.

$h = \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2$

$180 = \frac{1}{2} \cdot 10 \cdot t^2$ ve $t = 6$ s bulunur.



İlk 4 saniyede aldığı yola h_1, son 2 saniyede aldığı yola h_2 denilirse

$h_1 = \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2 = \frac{1}{2} \cdot 10 \cdot 4^2 = 80$ m

$h_1 + h_2 = 180$ m olduğuna göre

$80 + h_2 = 180$

$h_2 = 100$ m bulunur. Elma son 2 saniyede 100 m yol alır.



1. ÜNİTE: 4. BÖLÜM DEĞERLENDİRME SORULARI

A. Aşağıdaki cümlelerde boş bırakılan yerleri uygun kelimeleri kullanarak tamamlayınız.

tepe | limit | sürtünme | yer çekimi ivmesi | hız

maksimum | ortalama hız | aşağıdan yukarıya

1. Hava direncinin önemsenmediği bir ortamda düşey düzlemde hareket eden cismin ivmesi .... ile aynıdır.

2. İvme-zaman grafiğinin alanı .... değişimini verir.

3. Bir buluttan ayrılan yağmur damlası havadaki .... nedeniyle .... hıza ulaşır ve bu hızla yere çarpar.

4. Aşağıdan yukarıya düşey olarak atılan cismin çıkabildiği en yüksek noktaya .... noktası denir.

5. 3v hızı ile yükselen balondan v hızı ile balona göre aşağı yönde atılan cismin hareketi, yerden bakan gözlemciye göre .... düşey atış hareketidir.

6. Konum-zaman grafiğinde herhangi iki zamana karşılık gelen konumları birleştiren doğrunun eğimi .... verir.

B. Aşağıdaki cümlelerin başına doğru ise “D”, yanlış ise “Y” yazınız.

1. ( ) Havasız ortamda bütün cisimler, kütlelerinden bağımsız olarak yer çekimi ivmesi ile hızlanır.

2. ( ) Hız-zaman grafiğinde eğimin sıfır olması cismin durduğunu gösterir.

3. ( ) İvmesi “+” olan cisim kesinlikle “+” yönde hızlanan hareket yapar.

4. ( ) Hava sürtünmesi olan bir ortamda, aşağıdan yukarıya düşey olarak atılan cismin çıkış süresi, iniş süresinden daha kısadır.

5. ( ) Konum-zaman grafiğinde, grafiğin herhangi bir noktasındaki teğetinin eğimi, o noktaya karşılık gelen zamandaki anlık hızı verir.

6. ( ) Bir boyutta sabit ivmeli hareket yapan bir cisim, eşit zaman aralıklarında eşit yer değiştirmeler yapar.

7. ( ) Hava sürtünmesinin olmadığı bir ortamda, cismin bırakıldığı yükseklik 4 katına çıkarsa, yere düşme süresi iki katına çıkar.

C. Aşağıdaki soruları cevaplayınız.

1. Ay'ın yer çekimi ivmesi, Dünya'nın yer çekimi ivmesinden küçüktür. Buna göre, Ay'da ve Dünya'da aynı yükseklikten serbest düşmeye bırakılan cisimlerin yere düşme sürelerini karşılaştırınız. (Hava sürtünmesini ihmal ediniz.)

2. Hava sürtünmesinin olduğu ve olmadığı iki ayrı durumda 1 kg demir ile 1 kg pamuğun aynı yükseklikten serbest bırakıldığı durumlar için yere düşme sürelerini ve yere çarpma hızlarını karşılaştırınız.

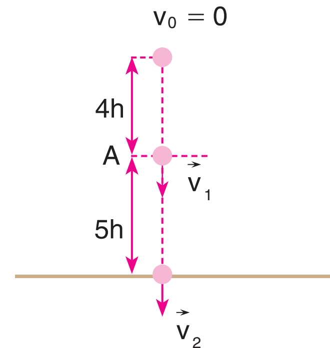
3. Hava sürtünmesinin bağlı olduğu değişkenler nelerdir? Bu değişkenlerin hava direncine etkilerini kısaca açıklayınız.

4. Limit hız nedir? Kısaca açıklayınız.

5. Bir boyutta sabit ivmeli harekete günlük hayatta karşılaştığımız olaylardan örnekler veriniz.

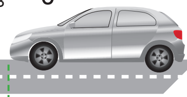
Ç. Aşağıdaki problemleri çözünüz.

1. Sürtünmelerin önemsenmediği ortamda yerden 9h yükseklikten serbest olarak bırakılan cisim A noktasından $\vec{v}_1$ hızı ile geçerek yere $\vec{v}_2$ hızı ile çarpıyor. $\frac{v_1}{v_2}$ oranını bulunuz.



2. $v_A = 10$ m/s $\qquad v_B = 0$





x

10 m/s hızla giden A aracı şekildeki konumdan geçtiği anda 2 m/s² ivme ile hızlanmaya başlarken B aracı da 3 m/s² ivme ile hızlanarak harekete başlıyor. Araçlar 8 s sonra karşılaştıklarına göre;

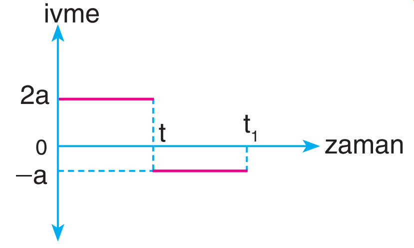
a) Karşılaştıkları andaki hızlarını,

b) Başlangıçta aralarındaki x uzaklığı bulunuz.

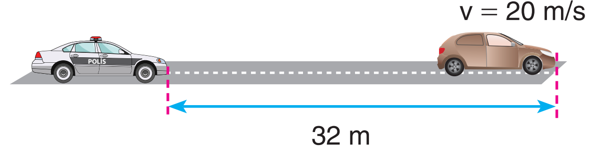
3. Duruştan harekete geçen cisim 2a ivmesi ile t süre hızlandıktan sonra a ivmesi ile yavaşlayıp t_1 anında duruyor. Buna göre;

a) t_1, kaç t'dir?

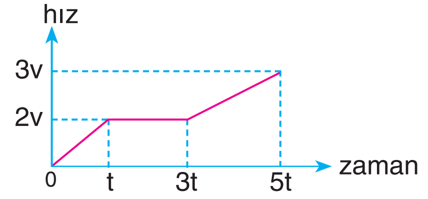
b) Hızlanma süresince yaptığı yer değiştirmenin, yavaşlama süresince yaptığı yer değiştirmeye oranını bulunuz.



4. 20 m/s sabit hızla giden araba, duran polis arabasının yanından geçip 32 m ilerledikten sonra polis arabası 6 m/s² ivme ile hızlanmaya başlıyor. Polis, diğer aracı kaç s sonra yakalar?



5. Hız-zaman grafiği verilen cismin 0-t zaman aralığındaki ivmesi a_1, yer değiştirmesi x_1; t – 3t zaman aralığında ivmesi a_2, yer değiştirmesi x_2; 3t – 5t zaman aralığında ivmesi a_3, yer değiştirmesi x_3 olduğuna göre;



a) İvmelerini,

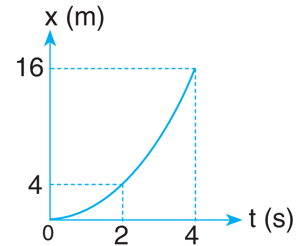
b) Yer değiştirmelerini büyükten küçüğe doğru sıralayınız.

6. Sürtünmesiz ortamda 30 m/s hızla aşağı yönde düşey olarak atılan cisim 70 m/s hızla yere çarpıyor. Cismin atıldığı yüksekliği bulunuz. (g = 10 m/s² alınız.)

7. Duruştan harekete geçen aracın konum-zaman grafiği şekildeki gibidir. Buna göre;

a) Aracın 0-2 s ve 2-4 s aralıklarındaki ortalama hızlarını,

b) İvmesini bulunuz.



8. Sürtünmesiz ortamda serbest düşmeye bırakılan cisim 6 s sonra yere çarpıyor. Cisim aynı yükseklikten aşağı yönde düşey olarak hangi hızla atılırsa 3 saniye sonra yere çarpar?

9. Yukarı yönde 66 m/s ilk hızla düşey olarak atılan cismin

a) 3 s sonraki hızını ve yerden yüksekliğini,

b) 8 s sonraki hızını ve yerden yüksekliğini bulunuz. ($g = 10\ m/s^2$ alınız. Sürtünmeler önemsizdir.)

D. Aşağıdaki test sorularını çözünüz.

1. Açılıp kapanan köprüye yaklaştığı sırada, köprünün geçişe kapalı olduğunu gören sürücü frene basarak arabasını sabit $\frac{3}{2}$ m/s^2 ivme ile yavaşlatıp durduruyor. Araba durana kadar yaptığı yer değiştirme 75 m olduğuna göre arabanın ilk hızını bulunuz.



A) 4 **B)** 6 **C)** 13 **D)** 15 **E)** 21

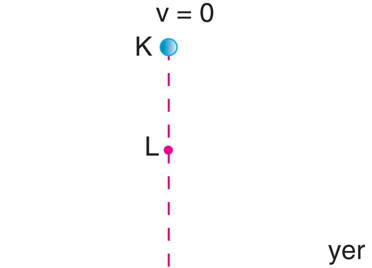
2. Hava ortamında K noktasından serbest düşmeye bırakılan cisim L noktasında limit hıza ulaşmaktadır. Buna göre;

I. Cisim K ve L noktaları arasında sabit ivmeli hareket etmektedir.

II. K ve L noktaları arasında cisme etki eden hava direnci kuvveti sürekli artmaktadır.

III. L noktasında cisme sadece yer çekimi kuvveti etki eder.

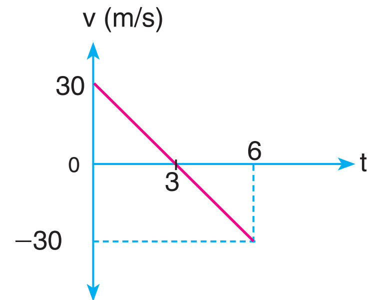
ifadelerinden hangisi veya hangileri doğrudur?



A) Yalnız I **B)** Yalnız II **C)** Yalnız III **D)** I ve II **E)** II ve III

3. Hava direncinin ihmal edildiği bir ortamda aşağıdan yukarıya düşey doğrultuda 30 m/s hızla atılan cismin hız-zaman grafiği şekildeki gibidir.

Cisim atıldıktan 4 s sonra yerden yüksekliği kaç m olur? ($g = 10\ m/s^2$ alınız.)



A) 20 **B)** 25 **C)** 40 **D)** 45 **E)** 60

1.5. İKİ BOYUTTA HAREKET

Bu bölümde;

- İki boyutta sabit ivmeli hareketi,
- İki boyutta sabit ivmeli hareketi, tek boyutta sabit ivmeli hareketle karşılaştırmayı,
- Yatay ve eğik atış hareketlerini, yatay ve düşey boyutta analiz etmeyi,
- Günlük hayatta karşılaşılan iki boyutta sabit ivmeli hareket eden cisimlerle ilgili problemleri çözmeyi öğreneceğiz.

Kavramlar

- İki boyutta hareket
- Yatay atış
- Eğik atış

BASKET MAÇINDA

Bir basketbol maçına ya da bir futbol maçına gitmişsinizdir. En azından arkadaşlarınızla top oynamışsınızdır ya da topla oynanan bir spor müsabakasını seyretmişsinizdir. Görsel 1.60'taki basketbolcunun serbest atış yapmasıyla topun potaya girmesi için, hem düşeyde hem de yatayda yer değiştirme yapması gerekir. Topun hem yatayda hem düşeyde yol alması, onun iki boyutta hareket ettiğini gösterir.



Görsel 1.60 *Serbest atış yapan basketbolcu*

Benzer biçimde Görsel 1.61'deki voleybolcunun topu rakip sahaya geçirebilmesi için yaptığı vuruş sonucu topun yaptığı hareket, iki boyutta harekete örnek verilebilir.



Görsel 1.61 *Topu diğer sahaya geçirmek isteyen voleybolcu*

1.5.1. İki Boyutta Sabit İvmeli Hareket

Önceki bölümde bir hareketlinin hem yatayda hem de düşeyde yaptığı bir boyutta sabit ivmeli hareketi incelemiştik. Günlük hayatımızda ise iki boyutta hareketin gerçekleştiği pek çok durumla da karşılaşırız. Denizde taş sektiren çocukların attığı taşların (Görsel 1.62), kaleye atılan futbol topunun (Görsel 1.63), potaya atılan basketbol topunun (Görsel 1.64), uçaktan atlayan paraşütçünün paraşütünü açana kadar yaptığı hareket (Görsel 1.65) yer çekimi ivmesi etkisinde yapılan iki boyutta sabit ivmeli hareketlerdir.



Görsel 1.62 *Deniz kenarındaki çocuklar taşı suda çok sektirmek için yere paralel ve hızlı bir şekilde atmalıdır.*



Görsel 1.63 *Kaleye atılan top hem yatayda hem de düşeyde hareket oluşturur.*



Görsel 1.64: *Potaya atılan basketbol topu hem yatay hem düşey düzlemde hareket eder.*



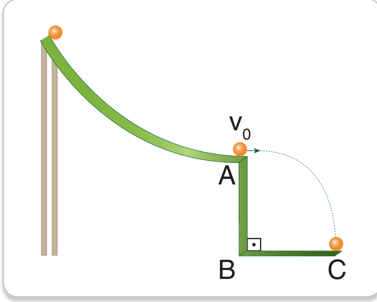
Görsel 1.65: *Uçaktan atlayan paraşütçü eylemsizliği nedeniyle uçağın hareketi yönünde giderken aynı zamanda yer çekimi nedeniyle de aşağıya doğru düşer.*

İki boyutta hareketi incelemek için dik koordinat sistemi kullanılabilir. x ve y gibi iki boyutta incelenebilen hareketleri "**iki boyutta hareket**" olarak adlandırabiliriz. Nehrin karşısına geçmeye çalışan yüzücünün hem nehre dik hem de paralel yer değiştirmeler yapması, iki boyutta sabit hızlı harekete iyi bir örnektir. Görsel 1.66'daki futbolcunun vurduğu top hem yatay hem düşey düzlemde hareket eder. Topa hareketi boyunca hava direnci ihmal edilmek üzere yalnızca ağırlığı etki eder. Top, ağırlığı nedeniyle düşeyde ivmeli hareket yaparken yatayda kuvvet uygulanmadığı için sabit hızla hareket eder. Topun düşeydeki hareketini **bir boyutta sabit ivmeli hareket**, yataydaki hareketini ise **bir boyutta düzgün doğrusal hareket** olarak inceleyebiliriz. Bu bölümde yer çekimi etkisiyle iki boyutta sabit ivmeli hareket yapan cisimlerin hareketlerini analiz edeceğiz.



Görsel 1.66: *Futbolcu topa vurduktan sonra cisim hem yatayda hem düşeyde yer değiştirme yapar.*

1.5.1.1. Yatay Atış



Şekil 1.33 *Eğimli bir yolda hareket eden top A noktasından, yere paralel bir hızla ayrılarak yatay atış hareketi oluşturur.*

Eğimli yoldan yuvarlanarak gelen top, A noktasından yere paralel bir v_0 hızı ile geçerek Şekil 1.33'teki gibi bir hareket gerçekleştirir. Bu örnekteki top gibi belirli bir yükseklikten yere paralel olarak bir ilk hızla atılan cismin yaptığı harekete "**yatay atış**" denir. Yatay atış hareketi yapan top, A noktasından yere paralel olarak v_0 hızı ile ayrıldıktan sonra şekildeki yörüngeyi izleyerek yere C noktasında çarpar. A noktasından C noktasına hareketi sırasında ilk hızı ve yer çekimi etkisi nedeniyle iki boyutta hareket yapar. Top düşeyde AB yolunu alırken yatayda ise BC yolunu alır.

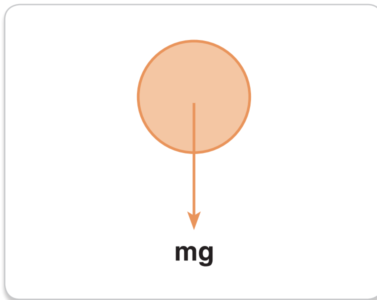


Görsel 1.67 *Atılma anında yere paralel olan dart oku, yatay atış hareketi yapar.*

Görsel 1.67'deki atılma anında yere paralel tutulan dart oku ve Görsel 1.68'deki yaydan çıkan okun hareketi yatay atış hareketine örnek olarak verilebilir.



Görsel 1.68 *Yere paralel olarak atılan ok yatay atış hareketi oluşturur.*



Şekil 1.34 *Yatay atış hareketi yapan topa (hava sürtünmesi ihmal edilmek üzere) yalnızca ağırlık kuvveti etki eder.*

Şekil 1.33'teki gibi yatay atış hareketi yaptırılan topun üzerine etki eden net kuvveti görebilmek için serbest cisim diyagramını çizelim. Hava direnci ihmal edildiğinde cismin üzerine etki eden net kuvvet Şekil 1.34'teki gibi ağırlığa eşit olur. Newton İkinci Hareket Kanunu uygulanırsa

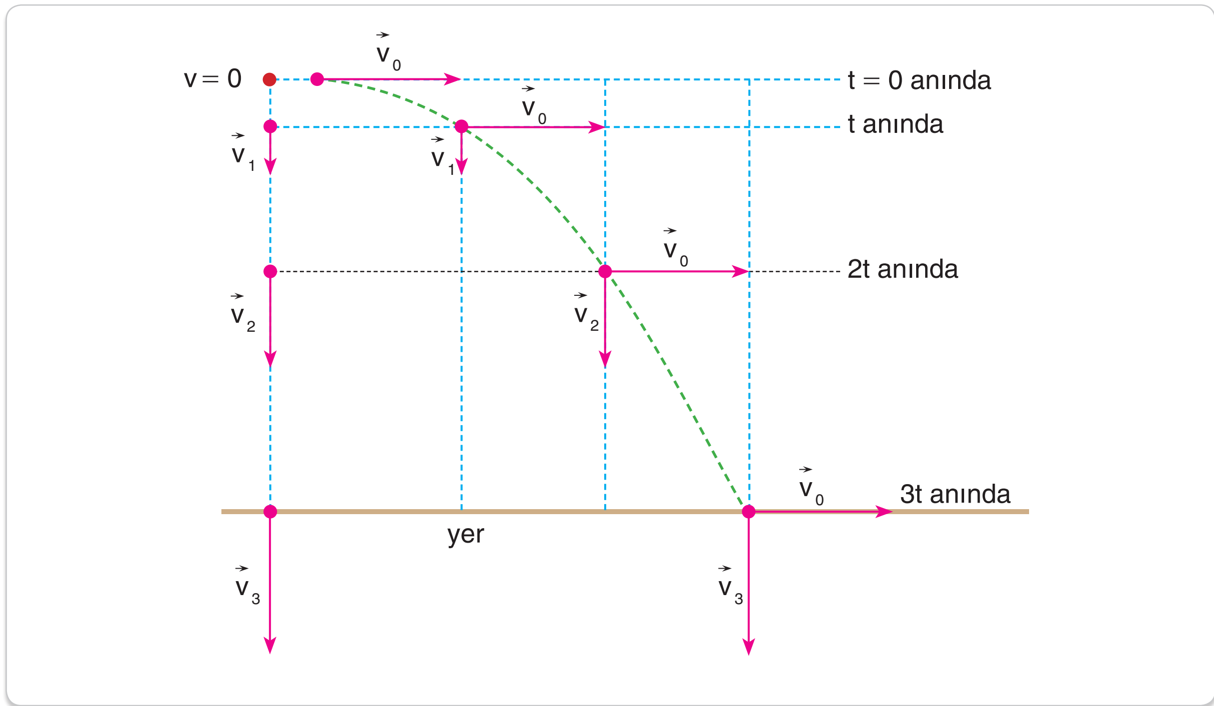
$\vec{F}_{net} = m \cdot \vec{a} = m \cdot \vec{g}$ ve $\vec{a} = \vec{g}$ bulunur.

Top A noktasından ayrıldığı anda düşeydeki ilk hızı $v_{oy} = 0$ ve ivmesi g yer çekimi ivmesi olacağından "**düşeydeki hareketi serbest düşmedir**" diyebiliriz. O hâlde yatay atış hareketi yaptırılan bir cismin düşeydeki hareketi ile ilgili tüm değişkenler, serbest düşme hareketi için kullanılan denklemlerle bulunabilir. Aynı anda aynı yükseklikten serbest düşmeye bırakılan cisim ile yatay atış hareketi yaptırılan cismin düşeydeki konumların ve hızlarının karşılaştırılması Şekil 1.35'te verilmiştir.

h, cismin atıldığı anda yerden yükseklik g, yer çekimi ivmesi; $t_{uçuş}$, yere düşene kadar geçen süre (havada kalma süresi); v_s, herhangi bir t anındaki düşey hızının büyüklüğü olmak üzere

$$h = \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2 \ (1) \qquad v_s = g \cdot t \ (2)$$

şeklinde matematiksel denklemler yazılabilir. (2) numaralı denklemde t yerine $t_{uçuş}$ yazılırsa yere çarpma anındaki düşey hızı elde edilir.



Şekil 1.35 Aynı yükseklikten aynı anda serbest düşmeye bırakılan ve yatay atış hareketi yaptırılan cisimlerin hareketlerinin karşılaştırılması

Hava direnci ihmal edildiğinde cisme yatayda herhangi bir net kuvvet uygulanmaz. Yataydaki net kuvvet sıfır olduğundan yataydaki ivmesi sıfır olur ve cismin yatayda sahip olduğu ilk v_0 hızı değişmez. Cisim, x ekseni boyunca sabit hızla hareket ettiği için

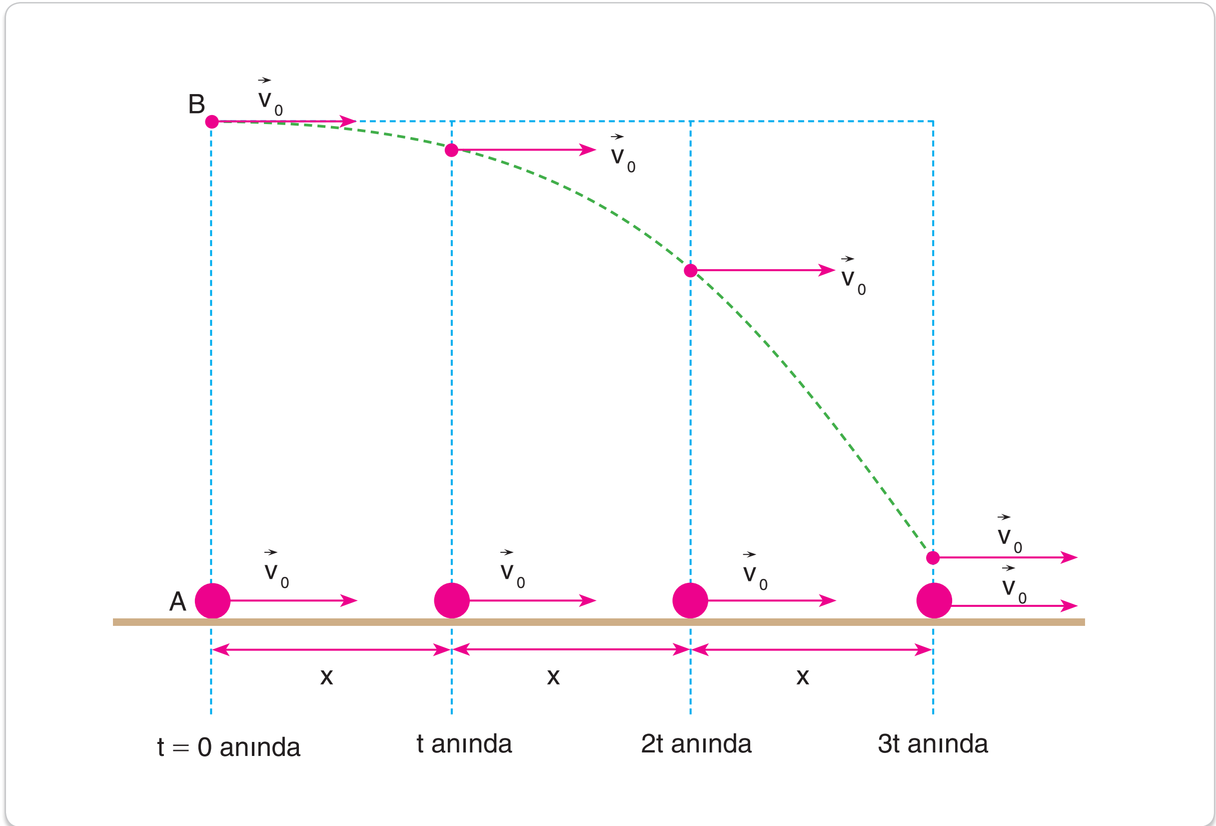
“Yataydaki hareketi düzgün doğrusal harekettir.” denilebilir. Şekil 1.36’da aynı doğrultuda aynı hızlarla harekete başlayan, biri yatay atış (B noktasından) diğeri düzgün doğrusal hareket yapan (A noktasından) iki cismin yataydaki hızları ve konumları karşılaştırılmıştır.

v_0 ilk hızının büyüklüğü, x herhangi bir t anında ilk atıldığı noktaya olan yatay uzaklığı olmak üzere

$x = v_0 \cdot t$ (3) yazılabilir.

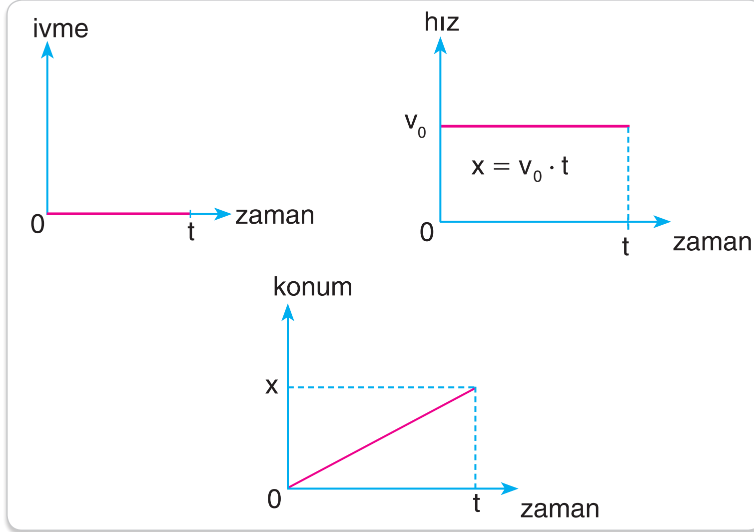
Cismin ilk atıldığı nokta ile düştüğü nokta arasındaki uzaklığa “**menzil**” denir. (3) numaralı denklemde t yerine $t_{uçuş}$ yazılırsa elde edilen değer menzili verir.

Yatay atış yaptırılan cismin herhangi bir anda sahip olduğu hız, o anda sahip olduğu yatay ve düşey hızlarının bileşkesidir. Yatay ve düşey hızlar hareket boyunca daima birbirine dik olacağı için hızın büyüklüğü Pisagor Teoremi ile bulunabilir.

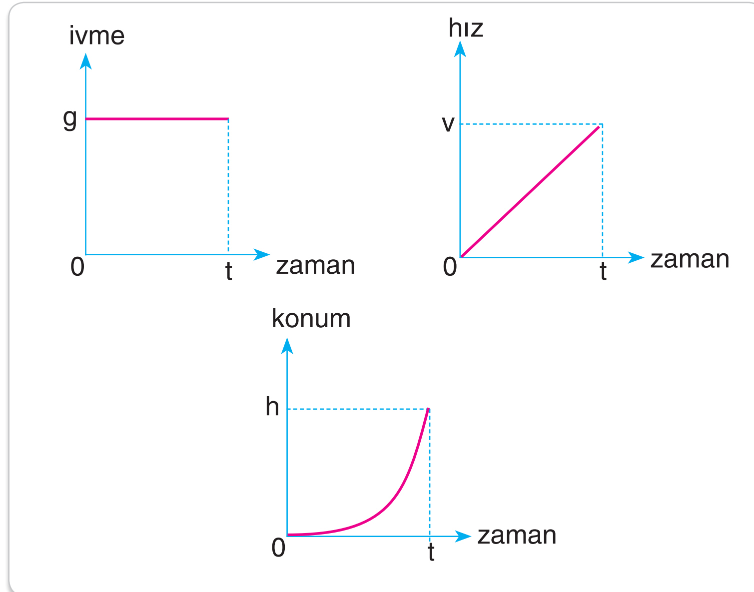


Şekil 1.36 *$\vec{v}_0$ hızı ile yatay atış yapan cisim ile $\vec{v}_0$ sabit hızıyla hareket eden cisimlerin hareketlerinin karşılaştırılması*

Yatay atış hareketi iki boyutta birbirinden bağımsız iki hareket olarak incelenerek cisme ait grafikler Grafik 1.14 ve Grafik 1.15'teki gibi çizilebilir.



Grafik 1.14 *Yatay atış hareketi yapan cismin yataydaki hareketine ait ivme-zaman, hız-zaman ve konum-zaman grafikleri*



Grafik 1.15 *Yatay atış hareketi yapan cismin düşeydeki hareketine ait ivme-zaman, hız-zaman ve konum-zaman grafikleri (Aşağı yön "+" seçilmiştir.)*

Yatay atış hareketi yaptırılan cisimlerin menzillerinin, kütleleri ve ilk hızları ile nasıl bir ilişkisi olabilir? Aynı yükseklikten aynı hızla yatay atış hareketi yaptırılan farklı kütlelere sahip iki cisimden hangisinin menzili daha büyük olur? Ya da aynı yükseklikten farklı hızlarla yatay atış hareketi yaptırılan aynı cismin hangi durumda menzili daha büyük olur? Bunu gözlemlemek için Etkinlik 1.3'ü yapınız.



Etkinlik 1.3

Yatay Atış Hareketi Yaptırılan Cisimlerin Menzilleri

Araç Gereçler
- İki boyutlu uzayda çarpışma takımı
- Metre ya da cetvel

Amacı: Yatay atış hareketinde kütle-menzil ve ilk hız-menzil ilişkisini incelemek

Etkinliğin Basamakları

A. Kütle-Menzil İlişkisi



- Sınıf mevcuduna ve malzeme durumuna göre 4-6 kişilik gruplar oluşturunuz.
- Rampanın alt ucunu, deney masasının üst yüzeyine paralel ve kenarına gelecek şekilde yerleştiriniz.
- Farklı kütlelere sahip bilyeler aynı yükseklikten serbest bırakıldığında rampayı aynı yatay hızlarla terk eder. Şimdi farklı kütlelere sahip bilyeleri rampanın aynı noktasından bırakarak yatay atış hareketi yaptırdığınızda bilyelerin sahip olacakları menzillerin büyüklükleri hakkında tahminde bulununuz.
- Değişik kütlelere sahip bilyeleri rampanın aynı noktasından sırasıyla bırakınız.
- Her bilyenin düştüğü noktayı işaretleyiniz.
- Bilyelerin düştükleri noktalar ile masa arasındaki uzaklıkları ölçerek yatayda aldıkları yolları karşılaştırınız.

B. İlk Hız-Menzil İlişkisi

- Rampanın alt ucunu masanın üst yüzeyine paralel ve kenarına gelecek şekilde yerleştiriniz.
- Bir bilye rampanın değişik noktalarından serbest bırakıldığında değişik hızlara sahip olur. Rampanın daha yüksek bir noktasından bırakıldığında daha büyük bir hızla rampayı terk eder. Bilyeye farklı hızlarla yatay atış hareketi yaptırıldığında menzillerinin nasıl değişeceğini tahmin ediniz.
- Bilyelerden birini rampanın üst ucundan bırakınız. Bilyenin düştüğü noktayı işaretleyiniz.
- Rampayı kıvırarak üst ucunun farklı yüksekliklere gelmesini sağlayınız. Aynı bilyeyi tekrar bırakarak düştüğü yeni yeri işaretleyiniz. Bu işlemi en az 3 farklı yükseklik için tekrarlayınız.
- Bilyenin düştüğü noktalar ile masa arasındaki uzaklıkları ölçerek yatayda aldıkları yolları karşılaştırınız.
- Etkinlik sonucunda elde ettiğiniz verileri tahminlerinizle karşılaştırınız.

Sonuca Varalım

1. Etkinlikten elde ettiğiniz sonuçlara göre kütle-menzil ilişkisi hakkında ne söyleyebilirsiniz?
2. Etkinlikten elde ettiğiniz sonuçlara göre ilk hız-menzil ilişkisi hakkında ne söyleyebilirsiniz?

Etkinliği yaptıktan sonra menzilin bağlı olduğu değişkenler hakkında bilgi edininiz. Etkinliğin birinci bölümünde bilyenin yatay atış yaptırıldığı yüksekliği ve ilk hızı sabit kalmak şartıyla yalnızca kütlesini değiştirerek ikinci bölümünde ise kütlesini ve yatay atış yüksekliğini değiştirmeden yalnızca ilk hızını değiştirerek kontrollü bir deney yaptınız. Şimdi etkinlikten elde edilen verileri inceleyerek bir sonuca ulaşmaya çalışalım.

Bütün bilyelerin yaklaşık aynı uzaklığa düşmesi, yatay atış hareketinde yatayda alınan yolun cismin kütlesi ile ilgili olmadığını, aynı yükseklikten aynı ilk hızlarla atılan cisimlerin aynı noktaya düşeceğini gösterir. Bu sonuç daha önce öğrendiğiniz, yer çekimi kuvveti etkisinde hareket eden cisimlerin ivmesinin kütlesinden bağımsız olduğu bilgisi ile de örtüşmektedir.

Rampanın üst ucu yukarıya kaldırıldıkça bilyenin alt uca gelme hızı artar. En yüksekten bırakılan bilyenin masadan en uzak noktaya, en alçaktan bırakılan bilyenin ise masaya en yakın noktaya düştüğü görülür. En yüksekten bırakılan bilye, rampadan en büyük hızla ayrılmıştır. Bu durum bize aynı yükseklikten farklı yatay hızlarla atılan cisimlerden en hızlı olanın en uzak menzile sahip olacağını gösterir.

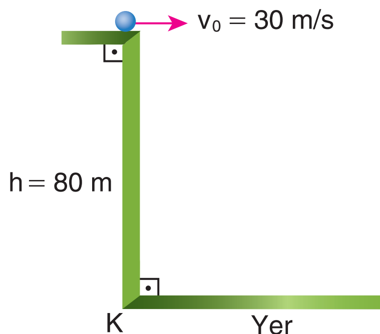
ÖRNEK 37

80 m yükseklikten şekildeki gibi yatay olarak 30 m/s ilk hızla atılan topun

a) Havada kalma (uçuş) süresini,

b) K noktasından kaç m uzağa düştüğünü,

c) Yere çarpma hızını bulunuz. ($g = 10\ m/s^2$ alınız. Hava sürtünmesini ihmal ediniz.)





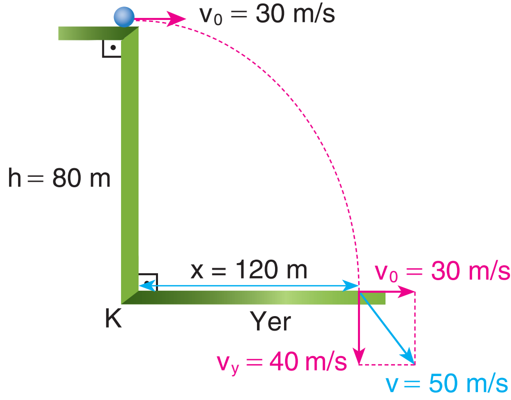
Kontrollü Deney



Deneyde kontrol edilebilecek bir değişken varsa, bu değişkeni değiştirerek bağımlı değişkenin nasıl bir değişime uğrayacağı sınanır.

Örneğin belirli bir yükseklikten serbest bırakılan taşın yere düşme süresinin kütle ile ilgisi olup olmadığını araştırmak için, bırakılma yüksekliği değiştirilmeden yalnızca taşın kütlesi değiştirilir. Buna bağlı olarak düşme süresinin değişip değişmediği kontrol edilir.

Benzer şekilde bırakılma yüksekliği ile yere düşme süresi arasındaki ilişkiyi incelemek için kütle sabit tutulurken yükseklik değiştirilir. Galileo Galilei, serbest düşme üzerine deneyler gerçekleştiren ilk bilim insanıdır. Deneylerin kontrollü bir şekilde gerçekleştirilmesinin önemini vurgulamış ve çeşitli ağırlıklarda olan farklı kütlelerin düşme zamanlarını ölçerek bir çok deney dizayn etmiştir. Bu deneylerden yola çıkarak nesnenin kütlesinin düşme şeklini etkilemediğinin farkına varmıştır.



ÇÖZÜM

Top düşeyde serbest düşme hareketi ile aşağı yönde yer değiştirme yapacağından

$$h = \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2$$

$$80 = \frac{1}{2} \cdot 10 \cdot t^2$$

$$t^2 = 16$$

$t_{uçuş} = 4$ s bulunur.

Top yatayda düzgün doğrusal hareket yapacağı için yatayda alacağı yol,

$x = v_0 \cdot t = 30 \cdot 4 = 120$ m bulunur.

Topun yere çarptığı anda düşey hızı

$$v_y = g \cdot t$$
$$= 10 \cdot 4$$
$= 40$ m/s olur.

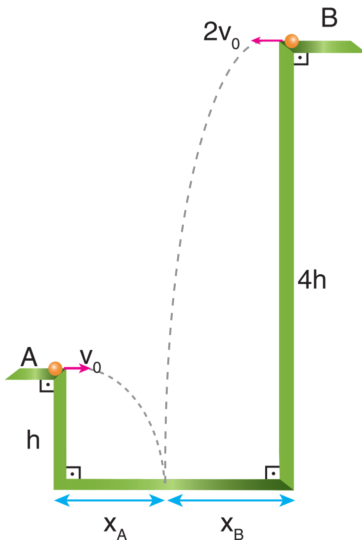
Topun yatay hızı hareket boyunca değişmez ve $v_0 = v_x$ olur.

Yere çarpma hızının büyüklüğü ise çarpma anındaki yatay ve düşey hızlarının büyüklüklerinin bileşkesi olacağından

$$v^2 = v_x^2 + v_y^2$$
$$v^2 = 30^2 + 40^2$$
$$v^2 = 2500$$
$v = 50$ m/s bulunur.

ÖRNEK 38

h yüksekliğinden yatay olarak v_0 hızı ile atılan A taşı ile 4h yüksekliğinden yatay olarak $2v_0$ hızı ile atılan B taşı aynı noktaya düşüyor. A taşının yatayda aldığı yol x_A, B taşının yatayda aldığı yol ise x_B kadardır. Buna göre $\frac{x_A}{x_B}$ oranını bulunuz.



ÇÖZÜM

A taşı için,

$h = \frac{1}{2} \cdot g \cdot t_A^2$ denkleminden $t_A = \sqrt{\frac{2h}{g}}$ bulunur. Buna göre A taşının yatayda aldığı yol,

$x_A = v_0 \cdot t_A = v_0 \cdot \sqrt{\frac{2h}{g}}$ olur.

B taşı için,

$4h = \frac{1}{2} \cdot g \cdot t_B^2$ denkleminden $t_B = 2\sqrt{\frac{2h}{g}}$ bulunur. Buna göre B taşının yatayda aldığı yol,

$$x_B = 2v_0 \cdot t_B$$

$$= 2v_0 \cdot 2\sqrt{\frac{2h}{g}} \text{ olur.}$$

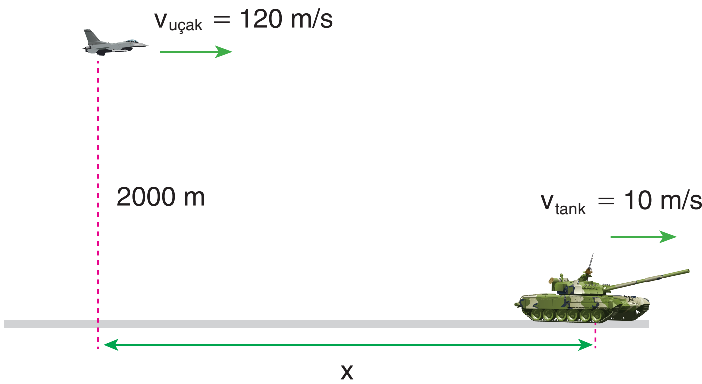
A ve B taşlarının yatayda aldıkları yolların oranı,

$$\frac{x_A}{x_B} = \frac{v_0 \cdot \sqrt{\frac{2h}{g}}}{2v_0 \cdot 2\sqrt{\frac{2h}{g}}}$$

$$= \frac{1}{4} \text{ olur.}$$



Sıra Sizde 1.27



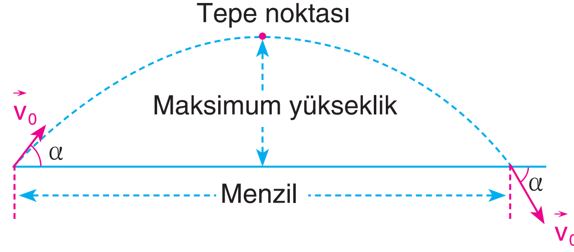
Yerden 2000 m yükseklikten 120 m/s sabit hızla yatay doğrultuda uçmakta olan bir uçak aynı yön ve doğrultuda 10 m/s hızla gitmekte olan tankı vurmak için bombayı serbest bırakıyor. Bombanın tanka isabet etmesi için, bomba bırakıldığında uçak ile tank arasındaki x uzaklığı kaç m olmalıdır?

($g = 10$ m/s^2 alınız. Hava sürtünmesini ihmal ediniz.)

1.5.1.2. Eğik Atış



Görsel 1.69 *Futbolcu topa eğik atış hareketi yaptırmaktadır.*



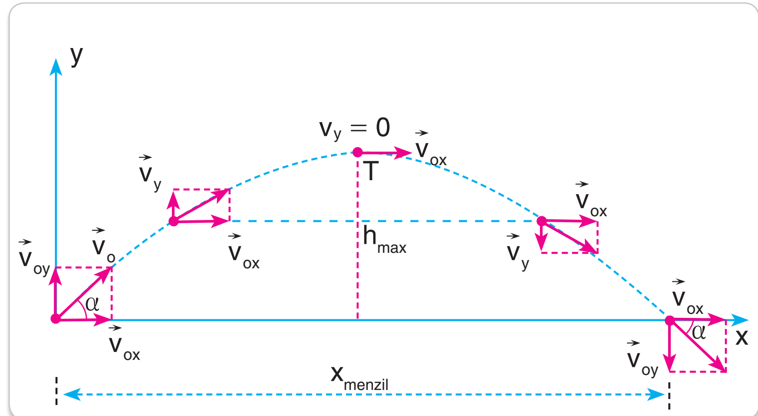
Şekil 1.37 *Eğik atılmış bir cismin hareket yörüngesi*

Yatayla α açısı yapacak biçimde Şekil 1.37'deki gibi $\vec{v}_0$ ilk hızı ile atılan cismin yer çekimi ivmesi etkisinde yaptığı harekete "**eğik atış hareketi**" denir. Bu cismin hareketi x-y koordinat sisteminde incelenirse iki boyutta hareket yaptığı görülür. O zaman bu cismin hareketi düşey eksen boyunca ve yatay eksen boyunca ayrı ayrı incelenebilir. Görsel 1.69'daki futbolcunun topu daha uzağa, Görsel 1.70'teki basketbolcunun topu potaya gönderebilmeleri için hareketlerinde belirli bir açı ve hız kullanmaları gerekir. Her iki durumda da sporcuların topa kazandırdığı hareket, eğik atış hareketine birer iyi örnektir.

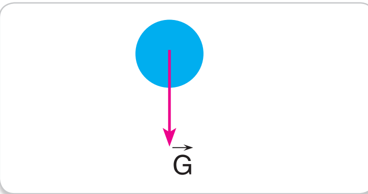


Görsel 1.70 *Basketbol topunun potaya girmesi için topu yatayla bir açı yapacak şekilde ve belirli bir ilk hızla atmak gerekir.*

Eğik atış hareketinde cismin hızının yatay ve düşey bileşenleri Şekil 1.38'deki gibi olur.



Şekil 1.38 *Eğik atış hareketinde cismin hızının yatay ve düşey bileşenleri*



Şekil 1.39 *Eğik atış hareketi yaptırılan cisme (hava sürtünmesi ihmal edilirse) yalnızca ağırlığı etki eder.*

Eğik atış hareketi yaptırılan cisme ait serbest cisim diyagramını Şekil 1.39'daki gibi çizelim. Hava direnci ihmal edildiğinde cismin üzerine etki eden net kuvvet ağırlığa eşit olur.

Newton İkinci Hareket Kanunu düşey eksen üzerinde uygulanırsa

$\vec{F}_{net} = m \cdot \vec{a} = m \cdot \vec{g}$ ve $\vec{a} = \vec{g}$ bulunur.

Cismin düşeydeki ilk hızı olan $v_{0y} = v_0 \cdot \sin\alpha$ kadar olur ve bu hız g yer çekimi ivmesi ile aynı doğrultuda olduğu için düzgün olarak değişir. Bu düşey bileşen cisim yukarı yönde çıkarken her saniye g kadar azalarak T tepe noktasında sıfır olur. Cisim tepe noktasından itibaren düşeyde aşağı yönde g yer çekimi ivmesi ile hızlanır. Öyleyse cismin düşeydeki bu hareketi için "**yukarı yönde düşey atış hareketi**" denilebilir. Yukarı yönde düşey atış hareketi için kullanılan denklemleri eğik atışın düşey bileşeni üzerinde uygulayabiliriz.

Cismin tepe noktasına gelene kadar geçen süre $t_{çıkış}$, tepe noktasından yere düşene kadar geçen süre $t_{iniş}$, havada kalma süresi $t_{uçuş}$ olmak üzere

$t_{çıkış} = t_{iniş}$ ve $t_{uçuş} = t_{çıkış} + t_{iniş}$ yazabiliriz.

$t_{çıkış} = t_{iniş} = \dfrac{v_{oy}}{g}$;

$t_{uçuş} = \dfrac{2v_{0y}}{g}$ ve $v_{oy} = v_0 \cdot \sin\alpha$ olduğundan

$$t_{uçuş} = \frac{2v_0 \sin\alpha}{g}$$ (1) bağıntısı elde edilir.

Herhangi bir t anında düşeydeki hızı $v_y = v_{0y} - g \cdot t$; herhangi bir t anında atıldığı yüzeyden yüksekliği

$$h = v_{0y} \cdot t - \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2$$ (2) bağıntısından bulunabilir.

(2) numaralı bağıntıda t yerine $t_{çıkış}$ yazılırsa cisim o anda tepe noktasında bulunacağından $h = h_{max}$ olur. Tepe noktasından itibaren cisim yatay atış yaptığından iniş süresi boyunca düşeyde serbest düşme yapar.

Buna göre $h_{max} = \dfrac{1}{2} \cdot g \cdot t_{iniş}^2$

$$= \frac{1}{2} g \left(\frac{v_{0y}}{g}\right)^2 \text{ ve } h_{max} = \frac{v_{0y}^{\,2}}{2g} \text{ olur.}$$

Hava direnci ihmal edilirse yatayda cisme etki eden net kuvvet sıfır olur. $F_{net} = m \cdot a = 0$ olduğundan yatay ivme $a = 0$ bulunur. Yatayda ivmesinin olmaması cismin yatay hızının sabit olduğu ve

yatayda "**düzgün doğrusal hareket**" yaptığı sonucuna götürür.

Cismin v_0 ilk hızının yatay eksendeki bileşeni $v_{ox} = v_0 \cdot \cos\alpha$ kadardır. Atıldığı ilk nokta ile düştüğü nokta arasındaki uzaklık "**menzil**" olarak adlandırılır. Menzil; $x = v_{ox} \cdot t_{uçuş}$ ile bulunur.

$v_{ox} = v_o \cdot \cos\alpha$ ve $t_{uçuş} = \dfrac{2v_0 \sin\alpha}{g}$ eşitlikleri menzil formülünde yerine konulursa

$$x = v_0 \cdot \cos\alpha \cdot \frac{2v_0 \sin\alpha}{g}$$

$$= \frac{v_0^2}{g} \cdot 2\sin\alpha \cdot \cos\alpha$$

$(2 \cdot \sin\alpha \cdot \cos\alpha = \sin 2\alpha$'dır.$)$

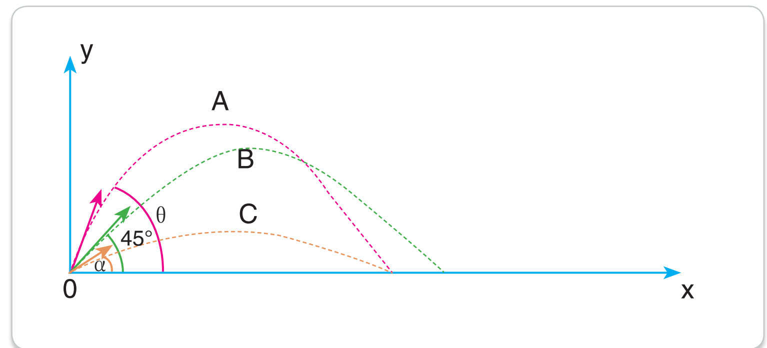
$x = \dfrac{v_0^2}{g} \cdot \sin 2\alpha$ matematiksel modeline ulaşılır. (3)

(3) numaralı formülü analiz edersek şu çıkarımları yapabiliriz:

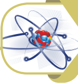
- $\sin2\alpha$'nın alabileceği en büyük değer 1'dir ve bu değer çarpımı maksimum yapar. $\sin2\alpha = 1$ ise $2\alpha = 90°$, $\alpha = 45°$ olur. Cismin ilk hızı sabit olmak şartıyla en uzak menzil mesafesine sahip olması için 45° açı ile atılması gerekir.

- $\theta + \alpha = 90°$ olmak üzere $\sin\alpha = \cos\theta$ ve $\cos\alpha = \sin\theta$ olur. $\sin\alpha \cdot \cos\alpha = \sin\theta \cdot \cos\theta$ olacağından v_0 hızları aynı olmak şartıyla aynı noktadan birbirini 90°ye tamamlayan açılarla eğik atış hareketi yaptırılan cisimler aynı uzaklığa düşer.

Şekil 1.40'da aynı ilk hızlarla eğik atış hareketi yaptırılan A, B ve C cisimlerinin menzillerinin karşılaştırılması verilmiştir. A cismi θ, C cismi α açılarıyla ve B cismi de 45°lik açıyla atılmıştır. $\alpha + \theta = 90°$ olduğu için A ve C aynı uzaklığa, B ise 45° açı ile atıldığı için maksimum uzaklığa düşmüştür.



Şekil 1.40 *Farklı açılarla eğik atış yaptırılan cisimlerin menzillerinin karşılaştırılması* $(\alpha + \theta = 90°$ olmak üzere$)$

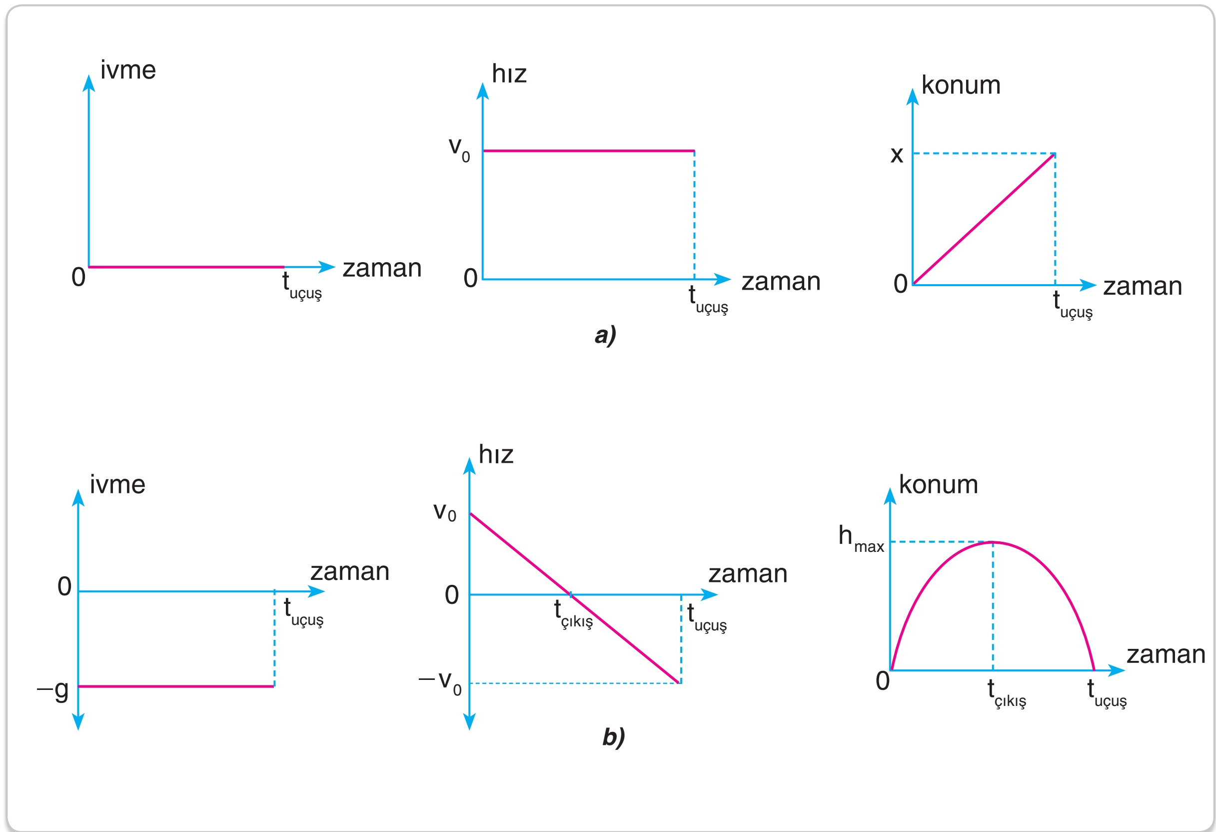


Mini Performans

https://phet.colorado.edu/tr/simulation/projectile-motion

adresindeki simülasyonu kullanarak yatay ve eğik atış hareketlerini inceleyiniz. İlk hız, açı, süre, hava sürtünmesi, menzil gibi değişkenleri kullanarak atış hareketlerini yorumlayınız.

Eğik atış hareketindeki değişkenler yatay ve düşey eksen üzerinde Grafik 1.16'daki gibi ayrı ayrı incelenir.



Grafik 1.16 *Eğik atış hareketinde ivme-zaman, hız-zaman ve konum-zaman grafikleri a) yatay ve b) düşey eksende olmak üzere ayrı ayrı incelenir.*

Okuma Parçası

CİRİT ATMA

Cirit atma, atletizm yarışlarında yer alan bir spordur. Cirit adı verilen uzun mızrak omzun üzerinde tutularak geriye götürülür ve uygun atış pozisyonu alınır. Sizce ciriti en uzak mesafeye atabilmek için uygun atış nasıl yapılabilir.

Atış yapılırken ciriti tutuş açısı önemlidir. Ciritin yatayla yaptığı açı atış esnasında 45° olmalıdır. Bunun nedenine gelince eğik atış hareketinde atılan cismin en uzak menzile ulaşması için 45°lik açı gerekmektedir. Bu sporu yapan atletler bu kurallara dikkat ederek atış yaparlar (Görsel 1.71).



***Görsel 1.71** Ciriti en uzağa atmak isteyen sporcu ciriti 45° açı ile atmalıdır. Aynı zamanda ciriti atmadan önce büyük bir hızla koşması gerekir.*



ÖRNEK 39

Görseldeki golf oyuncusu, topa vurarak eğik atış hareketi yaptırıyor. Atış sonrası top 25 m/s ilk hızla ve yatayla 53° açı yapacak şekilde eğik atış yaptığına göre;

a) Topun ilk anda sahip olduğu hızın yatay ve düşey bileşenlerini,

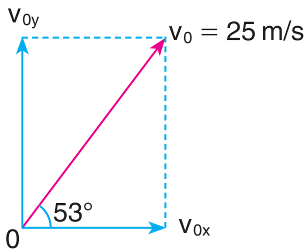
b) Topun havada kalma süresini,

c) Topun çıkabileceği maksimum yüksekliği,

ç) Atıldığı noktadan kaç metre ileriye düşeceğini bulunuz.

(g=10 m/s² alınız. Hava sürtünmesini ihmal ediniz. sin53°=0,8; cos53°=0,6)

ÇÖZÜM



Topa vurulduğu anda sahip olduğu ilk hız vektörünü çizelim.

a) Atıldığı anda hızının düşey bileşenin büyüklüğü,

$v_{0y} = v_0 \cdot \sin 53° = 25 \cdot 0,8 = 20$ m/s olur.

Yatay bileşenin büyüklüğü,

$v_{ox} = v_0 \cdot \cos 53° = 25 \cdot 0,6 = 15$ m/s olur.

b) Golf topunun havada kalma süresi düşeydeki ilk hızı kullanılarak

$$t_{uçuş} = \frac{2v_{0y}}{g}$$

$$t_{uçuş} = \frac{2 \cdot 20}{10} = 4 \text{ s bulunur.}$$

c) Topun hareketi sırasında yerden maksimum yüksekliği,

$$h_{max} = \frac{v_{0y}^2}{2g}$$

$$h_{max} = \frac{20^2}{2 \cdot 10} = 20 \text{ m olur.}$$

ç) Atıldığı nokta ile düştüğü nokta arasındaki uzaklık topun menzilidir. Menzil,

$$x = v_{ox} \cdot t_{uçuş}$$

$$x = 15 \cdot 4 = 60 \text{ m olarak bulunur.}$$

1.5.2. İki Boyutta Sabit İvmeli Hareket ile İlgili Hesaplamalar

İki boyutta sabit ivmeli harekete günlük yaşamımızdan birçok örnek verebileceğimizi gördünüz. Şimdi bu hareketle ilgili problem çözümlerini nasıl analiz edip çözüme ulaşabileceğimizi inceleyelim.

ÖRNEK 40

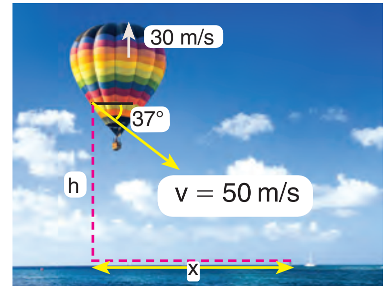
Yukarı yönde 30 m/s hızla yükselen balondan, balona göre yatayla 37° açı ile şekildeki gibi 50 m/s hızla atılan top denize 4 s sonra düşüyor. Buna göre;

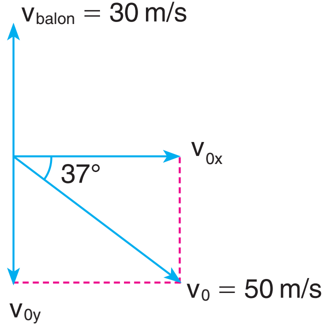
a) Top atıldığı anda balonun denizden yüksekliğini,

b) Top denize düştüğü anda balona göre yatay uzaklığını (x),

c) Topun denize çarpma hızını bulunuz.

($g = 10$ m/s² alınız. Hava sürtünmesini ihmal ediniz. sin37°= 0,6; cos 37° = 0,8)





ÇÖZÜM

Topun atıldığı ilk andaki hız bileşenlerinin büyüklükleri

$v_{ox} = v_0 \cdot \cos 37^\circ$

$= 50 \cdot 0,8 = 40$ m/s,

$v_{0y} = v_0 \cdot \sin 37^\circ$

$= 50 \cdot 0,6 = 30$ m/s olur.

Balonun hızından kaynaklanan eylemsizliğinden dolayı düşeydeki hızı sıfır olur ki bu cismin yatay atış yaptığı anlamına gelir.

a) Yatay atış hareketinde düşeydeki yer değiştirme,

$h = \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2_{uçuş}$

$h = \frac{1}{2} \cdot 10 \cdot 4^2 = 80$ m bulunur.

Top atıldığı yüksekliğe göre 80 m aşağıdadır. Top atıldığı anda balon, deniz yüzeyinden 80 m yukarıdadır.

b) Topun yatayda aldığı yol,

$x = v_{0x} \cdot t$

$x = 40 \cdot 4 = 160$ m'dir.

c) Topun yataydaki hızı sabit olacağı için yere çarpma anındaki hızının yatay bileşeni 40 m/s'dir.

Düşey bileşeni ise $v_y = g \cdot t = 10 \cdot 4 = 40$ m/s olur. Yere çarpma hızının büyüklüğü, yatay ve düşey hız vektörlerinin toplamı olacağından

$v^2_{yere\ çarpma} = 40^2 + 40^2$

$v_{yere\ çarpma} = 40\sqrt{2}$ m/s bulunur.

ÖRNEK 41



Görseldeki gibi serbest atış yapan basketbolcunun elinden top çıktığı anda topun yerden yüksekliği 2,15 m; ilk hızı 12 m/s ve yatayla yaptığı açı 30°dir. Top, 1 s sonra potaya girdiğine göre;

a) Potanın yerden yüksekliğini,

b) Atış yapılan noktanın potaya olan yatay uzaklığını bulunuz.

(g=10 m/s² alınız. Hava sürtünmesini ihmal ediniz.

$\sin 30^\circ = 0,5$; $\cos 30^\circ = \frac{\sqrt{3}}{2}$)

ÇÖZÜM

Topun atıldığı anda, hızının düşey bileşeni

$v_{0y} = v_0 \cdot \sin 30°$

$v_{0y} = 12 \cdot 0,5 = 6$ m/s olur.

Hızın yatay bileşeni

$v_{0x} = v_0 \cdot \cos 30°$

$v_{0x} = 12 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} = 6\sqrt{3}$ m/s olur.

a) Topun atıldığı yüksekliğe göre 1 s sonraki yüksekliği

$h = v_{0y} \cdot t - \frac{1}{2}gt^2$

$h = 6 \cdot 1 - \frac{1}{2} \cdot 10 \cdot 1^2$

$h = 1$ m bulunur.

Atıldığı anda da yerden 2,15 m yüksekte olduğu için potaya girdiği anda yerden yüksekliği aynı zamanda pota yüksekliği

$1 + 2,15 = 3,15$ m'dir.

b) Yatayda sabit hızla hareket ettiğinden yatayda aldığı yol

$x = v_{0x} \cdot t = 6\sqrt{3} \cdot 1 = 6\sqrt{3}$ m olur.

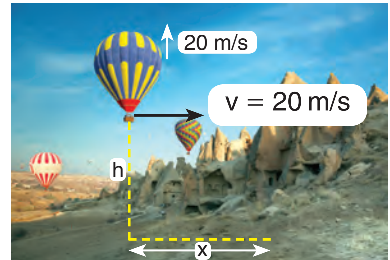
ÖRNEK 42

Yukarı yönde sabit 20 m/s hızla yükselen balondan, balona göre yatay olarak 20 m/s ilk hızla atılan taş 7 s sonra yere çarpıyor. Buna göre

a) Taş atıldığı anda balonun yerden yüksekliğini,

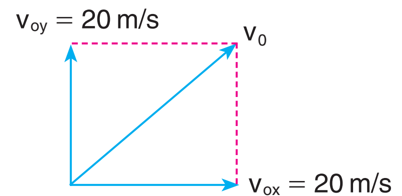
b) Taş yere çarptığında balonla arasındaki yatay uzaklığı bulunuz.

($g = 10$ m/s² alınız. Hava sürtünmesini ihmal ediniz.)



ÇÖZÜM

Taş balona göre yatay 20 m/s hızla atılırken eylemsizliği nedeniyle de yukarı yönde balonun hızı olan 20 m/s hızla hareket eder. Taşın yataydaki hızı $v_{ox} = 20$ m/s ve düşeydeki ilk hızı yukarı yönde $v_{oy} = 20$ m/s olur.



a) Taşın 7 s sonunda düşeyde yaptığı yer değiştirme,

$h = v_{0y} \cdot t - \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2;$

$h = 20 \cdot 7 - \frac{1}{2} \cdot 10 \cdot 7^2 = -105$ m'dir.

Taş, 7 s sonra atıldığı yüksekliğe göre 105 m daha aşağıdadır. Taş atıldığı anda balonun yerden yüksekliği 105 m'dir.

b) Taşın yatayda aldığı yol

$x = v_{0x} \cdot t$

$x = 20 \cdot 7 = 140$ m bulunur.



Sıra Sizde 1.28

$v_0 = 100$ m/s



Şekildeki gibi yatayla 37° açı yapacak şekilde 100 m/s hızla atılan cismin

a) Atıldığı andaki yatay ve düşey hızlarını,

b) Havada kalma süresini,

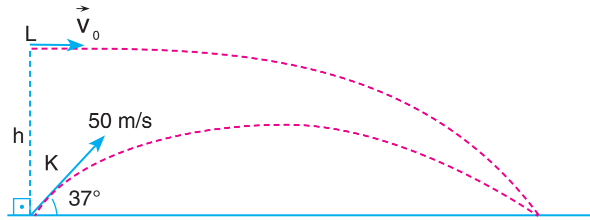
c) Çıkabileceği maksimum yüksekliğini,

ç) Menzilini bulunuz.

($g = 10$ m/s^2 alınız. Hava direncini ihmal ediniz. sin37° = 0,6; cos37° = 0,8)



Sıra Sizde 1.29



K cismi 50 m/s lik ilk hızla eğik atıldığı anda, L cismi v_0 hızı ile h yüksekliğinden yatay olarak atılıyor. L cismi, K'den 4 s sonra K'nin düştüğü noktaya düşüyor.

Buna göre

a) L cisminin atıldığı yüksekliği bulunuz.

b) L cisminin v_0 ilk hızını bulunuz.

($g = 10$ m/s^2 alınız. Hava direncini ihmal ediniz. sin37° = 0,6; cos37° = 0,8)



1. ÜNİTE: 5. BÖLÜM DEĞERLENDİRME SORULARI

A. Aşağıdaki cümlelerde boş bırakılan yerleri uygun kelimeleri kullanarak tamamlayınız.

ağırlık | serbest düşme | maksimum | menzil | eğik | düzgün doğrusal hareket | yer çekimi

1. Sürtünmesiz ortamda yatay atış hareketi yapan cismin yatay düzlemdeki hareketi .... ile aynı özelliklerdedir.

2. Eğik atış hareketinde ivmenin büyüklüğü .... ivmesi kadardır.

3. Atıldığı anda yatayla açı yapan cismin hareketine .... atış hareketi denir.

4. Eğik atış yaptırılan cismin ivmesi .... ile aynı yönlüdür.

5. Eğik atış hareketinde, cismin tepe noktasındaki yüksekliğine .... yükseklik denir.

6. Eğik atış hareketinde cismin atıldığı nokta ile düştüğü nokta arasındaki uzaklığa................................. denir.

B. Aşağıdaki cümlelerin başına doğru ise “D”, yanlış ise “Y” yazınız.

1. ( ) Aynı yükseklikten yatay atılan özdeş cisimlerden hızı büyük olan daha çabuk yere düşer.

2. ( ) Eğik atış hareketinde cisim tepe noktasından itibaren yatay atış hareketi yapar.

3. ( ) İki boyutta harekette, her boyuttaki hareket diğerinden bağımsızdır.

4. ( ) Yatay atış hareketi yapan cismin yere çarpma hızı daima ilk hızından büyüktür.

5. ( ) Aynı büyüklükteki hızlarla 70° ve 20° açılarla eğik atış yaptırılan cisimlerden 70° açı ile atılan daha uzağa düşer.

6. ( ) Yükselen bir balondan balona göre yere paralel atılan cisim yatay atış hareketi yapar.

7. ( ) Aynı ilk hızlarla eğik atış yaptırılan iki cisimden, yatayla büyük açı yapanın havada kalma süresi daha fazladır.

C. Aşağıdaki soruları cevaplayınız.

1. Eğik atış hareketi yapan cismin yataydaki ve düşeydeki hareketleri, diğer hareket türlerinden hangileri ile benzerlik gösterir? Neden?

2. Yatay atış ve eğik atış hareketinde yatay hızın sabit kalmasının nedeni nedir? Açıklayınız.

3. Hava sürtünmesi ihmal edilerek aynı açı ve aynı hızlarla Dünya'da ve Ay'da atılan cisimlerin

   a) Havada kalma sürelerini,
   b) Maksimum yüksekliklerini,
   c) Menzillerini,
   ç) Yere çarpma hızlarını karşılaştırınız.

4. Sabit hızla giden bir trende oturan yolcu elindeki elmayı yukarı doğru atıyor. Elmanın yaptığı hareketi trendeki yolcuya ve dışarıda duran gözlemciye göre yorumlayınız.

5. Günlük hayatta karşılaştığımız eğik atış ve yatay atış hareketlerine örnekler veriniz.

6. Eğik atış ve yatay atış hareketinin neden iki boyutta incelendiğini açıklayınız.

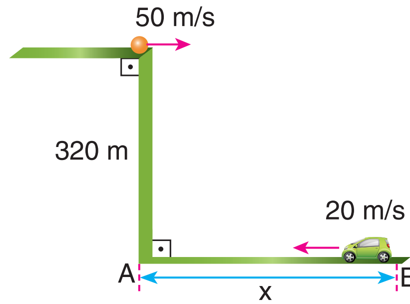
7. Hava sürtünmesi ihmal edildiğinde, yatay atış hareketi yapan cismin havada kalma süresini ve menzilini etkileyen faktörler nelerdir?

8. Hava sürtünmesi ihmal edildiğinde, eğik atış hareketi yapan cismin havada kalma süresini, maksimum yüksekliğini ve menzilini etkileyen faktörler nelerdir?

Ç. Aşağıdaki problemleri çözünüz.

(Bu bölümdeki sorularda $g = 10\ m/s^2$ alınız ve hava sürtünmelerini ihmal ediniz.)

1. 320 m yükseklikten 50 m/s hızla yatay olarak atılan cisim 20 m/s hızla gelen arabanın üzerine düşüyor. Cismin atıldığı anda araba ile olan yatay uzaklığını (x) bulunuz.



2. Yatayla 37° açı yapacak şekilde 50 m/s hızla atılan cismin

a) 5 s sonraki hızını, **b)** 5 s sonra yerden yüksekliğini bulunuz.

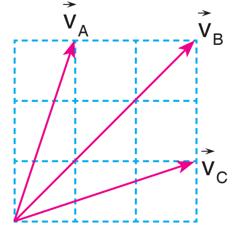
(sin37° = 0,6; cos37° = 0,8)

3. Eşit bölmelendirilmiş zemin üzerinde gösterilen hızlarla atılan cisimlerin

a) Havada kalma sürelerini,

b) Çıkabilecekleri maksimum yüksekliklerini,

c) Menzillerini karşılaştırınız.



D. Aşağıdaki test sorularını çözünüz.

(Bu bölümdeki sorularda $g = 10 m/s^2$ alınız ve hava sürtünmelerini ihmal ediniz.)

1. Yatay olarak 30 m/s lik hızla atılan cisim yere 50 m/s hızla çarpıyor. Buna göre cisim yerden kaç m yükseklikten atılmıştır?

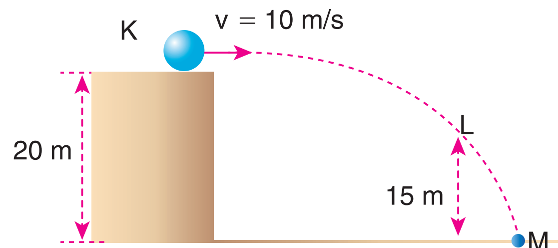
A) 20 **B)** 45 **C)** 80 **D)** 125 **E)** 180

2. 45° açı ile eğik olarak atılan cismin çıkabileceği maksimum yükseklik h_{max}, menzili ise x oluyor. Buna göre $\frac{h_{max}}{x}$ oranı kaçtır?

A) 4 **B)** 2 **C)** 1 **D)** $\frac{1}{2}$ **E)** $\frac{1}{4}$

3. Sürtünmesiz ortamda K noktasından 10 m/s yatay hızla atılan bir cismin izlediği yörünge şekildeki gibidir.

Cismin L ve M noktalarındaki hızlarının oranı kaçtır?



A) $\frac{1}{4}$ **B)** $\frac{\sqrt{5}}{5}$ **C)** $\frac{1}{2}$ **D)** $\frac{\sqrt{2}}{\sqrt{5}}$ **E)** $\frac{\sqrt{2}}{2}$

1.6. ENERJİ VE HAREKET

Bu bölümde;

- Yapılan iş ile enerji arasındaki ilişkiyi,
- Hooke Yasası'nı,
- Grafiklerden faydalanarak iş ve enerji hesaplamalarını,
- Cisimlerin hareketini mekanik enerji korunumunu kullanarak analiz etmeyi,
- Sürtünmeli yüzeylerde enerji korunumunu ve dönüşümlerini kullanarak cisimlerin hareketini analiz etmeyi öğreneceğiz.

Kavramlar

- Hooke Yasası
- Mekanik enerji
- Enerjinin korunumu
- Enerji dönüşümü

HAYATIMIZDA ENERJİ

Dila'nın 4. doğum gününde gelen kutu onu çok şaşırtmıştı. Çünkü kutunun kapağını kaldırdığında içinden bir oyuncak palyaço fırladı. Görsel 1.72'deki kutunun içinden oyuncak palyaçoyu dışarıya doğru iten sizce ne idi?

Gerilmiş bir yayın ucundaki ok, yay serbest bırakıldığında fırlar ve çok uzaklara kadar gidebilir (Görsel 1.73). Elde hareketsiz tutulan bu okun uzaklara gidebilecek kadar enerjiye sahip olmasını nasıl açıklarsınız? Görsel 1.74'teki salıncakta sallanan çocuğun yerden yükselirken yavaşlayıp bir an duraksayıp tekrar yere doğru hızlanmasının sebebi nedir sizce?

Günlük hayatınızda bu örneklere benzer pek çok olayla karşılaşabilirsiniz. Bu olayların tamamı cisimlerde depolanan enerjinin varlığı, enerjinin korunumu ve dönüşümü ile açıklanabilmektedir.



Görsel 1.72 *Yayın ucundaki oyuncak palyaçonun fırlaması Dila'yı oldukça şaşırtır.*



Görsel 1.73 *Gerilmiş bir yayın serbest bırakılmasıyla ok hızla fırlar.*



Görsel 1.74 *Salıncakta sallanan çocuğun hareketi boyunca enerji dönüşümü vardır.*

1.6.1. İş ve Enerji

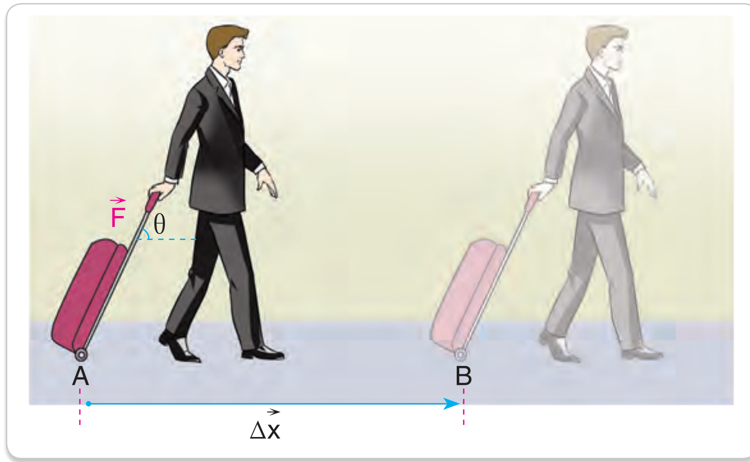
Günlük yaşantımızdaki bedensel ve zihinsel faaliyetlerimizi genel olarak iş sözcüğüyle tanımlarız. Örneğin kucağınızda ağır bir kutuyu yatay düzlemde taşıdığınızda enerji harcar ve yorulursunuz (Şekil 1.41). Buna rağmen fiziksel anlamda iş yapmış olmazsınız.

Fiziksel işin yapılabilmesi için cisme uygulanan kuvvetin yer değiştirme doğrultusunda etkisi olması gerekir. Diğer bir deyişle kuvvet ve yer değiştirmenin doğrultuları paralel olmalıdır.

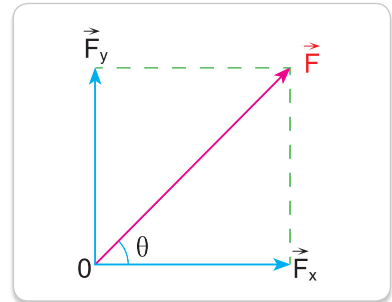
Şekil 1.42'deki kişi bavulu A noktasından B noktasına $\vec{F}$ kuvvetiyle çekmektedir. Bavul yatay düzlemde yer değiştirme yaptığından, kuvvetin $\vec{F}_x$ bileşenleri iş yapar.



Şekil 1.41 *Kucağında ağır kutu taşıyan kişi iş yapmaz.*



Şekil 1.42 *Bavulu çeken kişi iş yapar.*



Şekil 1.43 *$\vec{F}$ kuvvetinin bileşenleri*

Buna göre

$F_x = F \cdot \cos\theta$ olur (Şekil 1.43).

9. sınıfta öğrendiğiniz iş bağıntısı,

$W = F \cdot \Delta x$ idi.

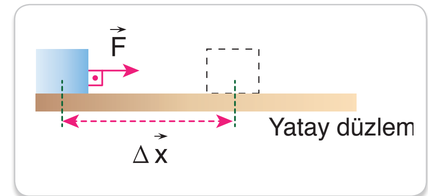
Buna göre $\vec{F}_x$ kuvvetinin yaptığı iş,

$W = F_x \cdot \Delta x$

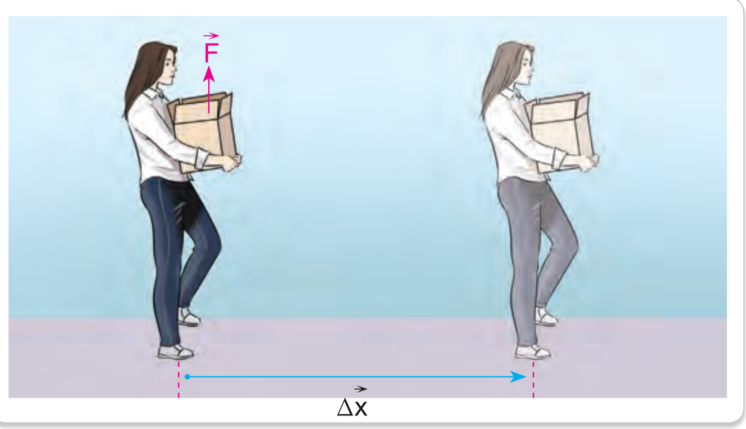
$W = F \cdot \cos\theta \cdot \Delta x$ olur.

Bu bağıntıya göre

• $\theta = 0°$ ise $\cos\theta = 1$ olur. Bu durumda uygulanan kuvvet ile cismin hareket yönü aynıdır. Yapılan iş pozitif olur (Şekil 1.44).



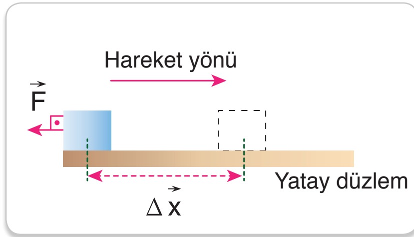
Şekil 1.44 *$\vec{F}$ ile $\Delta\vec{x}$ aynı yönlüdür.*



Şekil 1.45 $\vec{F}$ *ile* $\Delta\vec{x}$ *birbirine diktir.*

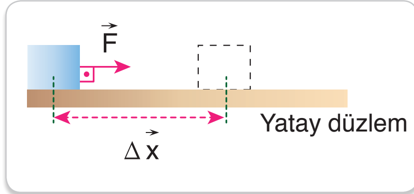
- $\theta = 90°$ ise $\cos\theta = 0$ olur. Bu durumda iş yapılmaz (Şekil 1.45).

- $\theta = 180°$ ise $\cos\theta = -1$ olur. Bu durumda cismin hareket yönü ile uygulanan kuvvet ters yönlüdür. Yapılan iş negatif olur (Şekil 1.46).

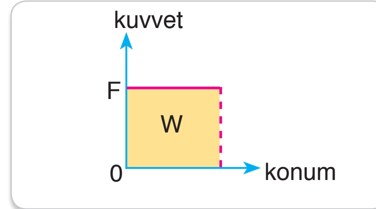


Şekil 1.46 $\vec{F}$ *ile* $\Delta\vec{x}$ *zıt yönlüdür.*

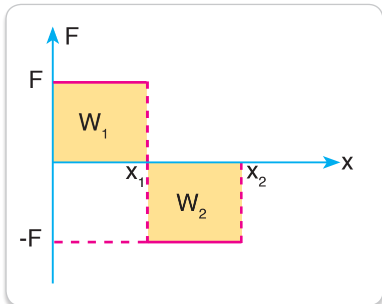
Sürtünmesiz yatay düzlemdeki cisme sabit $\vec{F}$ kuvveti uygulanarak, cisim Δx kadar yer değiştiriyor (Şekil 1.47). Bu kuvvetin yaptığı iş, kuvvet–konum grafiğinden bulunabilir. Grafiğin altında kalan alan yapılan işi verir (Grafik 1.17).



Şekil 1.47 *Sürtünmesiz yatay düzlemde hareket eden cisim*



Grafik 1.17 Kuvvet-konum grafiğinin altında kalan alan işi verir.



Grafik 1.18 Pozitif ve negatif işler yapılmıştır.

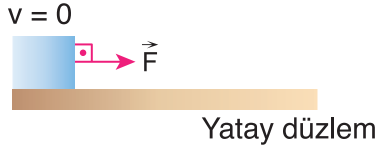
Yapılan işin pozitif veya negatif olması kuvvete bağlıdır. Konum ekseninin üstünde kalan alan pozitif işi, altında kalan alan ise negatif işi verir (Grafik 1.18).

Bu durumda yapılan net iş tüm alanların cebirsel toplamı ile bulunur. Net iş,

$W_{net} = \sum Alan$

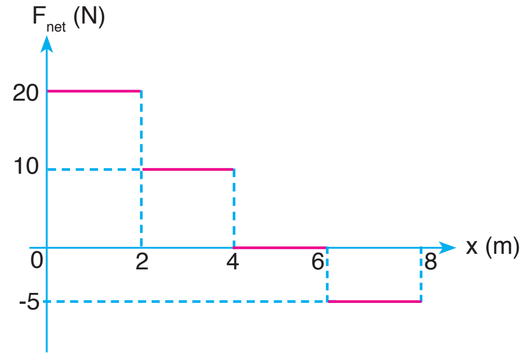
$W_{net} = W_1 + W_2$ olur.

ÖRNEK 43



Yatay düzlemde durmakta olan şekildeki cisme etki eden net kuvvetin konuma bağlı değişimi grafikte verildiği gibidir.

Buna göre yapılan net işi bulunuz.



ÇÖZÜM

Net iş $F_{net} - x$ grafiğinin altında kalan alanların cebirsel toplamına eşittir.

Grafikte gösterilen alanlar,

$W_1 = 20 \cdot 2 = 40\,J$

$W_2 = 10 \cdot 2 = 20\,J$

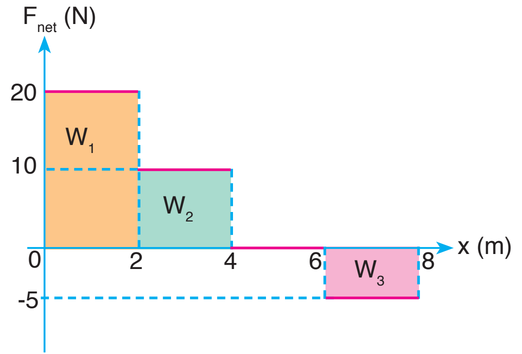
$W_3 = -5 \cdot 2 = -10\,J$ bulunur.

Yapılan net iş,

$W_{net} = W_1 + W_2 + W_3$

$W_{net} = 40 + 20 - 10$

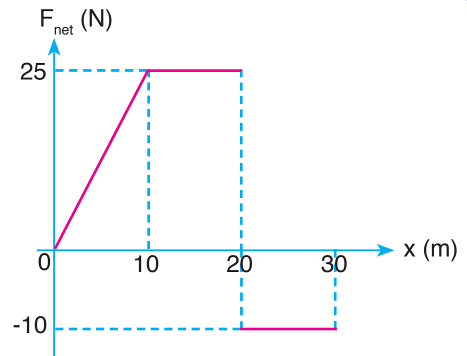
$W_{net} = 50\,J$ bulunur.





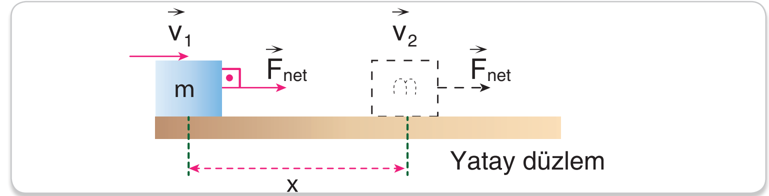
Sıra Sizde 1.30

Yatay düzlemde sabit hızla hareket eden bir cismin $F_{net} - x$ grafiği şekildeki gibidir. Buna göre yapılan net işi bulunuz.



Sabit hızla hareket eden bir cisme hareket yönünde bir kuvvet uygulandığında cisim hızlanırken harekete zıt yönde bir kuvvet uygulandığında cisim yavaşlar. Cismin hızlanması veya yavaşlaması durumunda cismin kinetik enerjisi değişir. 9. sınıf fizik derslerinde, cisme uygulanan net kuvvetin yaptığı işin cismin enerjisinde değişime neden olduğunu öğrenmiştiniz.

Örnek 43'te yapılan net işin 50 J olduğu bulundu. Bu durumda başlangıçta durmakta olan cisim yatay düzlemde harekete geçiyor. Yapılan iş pozitif olduğu için cisim 50 J kinetik enerji kazanıyor demektir.



Şekil 1.48: Sabit net bir $\vec{F}_{net}$ kuvvetinin etkisi altında hareket eden cisim

Sabit net bir $\vec{F}_{net}$ kuvvetinin etkisi altında hareket eden m kütleli cismin ilk hızı $\vec{v}_1$ dir (Şekil 1.48). Cisim x kadar yer değiştirdiğinde cismin hızı $\vec{v}_2$ oluyor. Kuvvetin yaptığı iş, cismin kinetik enerjisindeki değişime eşit olduğundan,

$W = \Delta E_K = E_{K(SON)} - E_{K(İLK)}$ (1) bağıntısı elde edilir.

Grafik 1.17'den net iş,

$W = F \cdot x$ bulunur.

Cisim sabit kuvvetin etkisi altında sabit ivmeli hareket yaptığından Newton'ın İkinci Yasası'ndan,

$F_{net} = m \cdot a$ yazılır ve

$a = \dfrac{v_2 - v_1}{t}$ (2) bağıntısı elde edilir.

Düzgün hızlanan harekette yer değiştirme,

$\Delta x = v_{ort} \cdot t$ ise

$x = \dfrac{(v_1 + v_2)}{2} \cdot t$ (3) bağıntısı elde edilir.

(2) ve (3) numaralı bağıntılardan

$W = F \cdot x$

$$W = m \cdot \frac{(v_2 - v_1)}{t} \cdot \frac{(v_1 + v_2)}{2} \cdot t$$

$W = \frac{m}{2} \cdot (v_2^2 - v_1^2)$ (4) bağıntısı elde edilir.

(1) ve (4) numaralı bağıntılardan

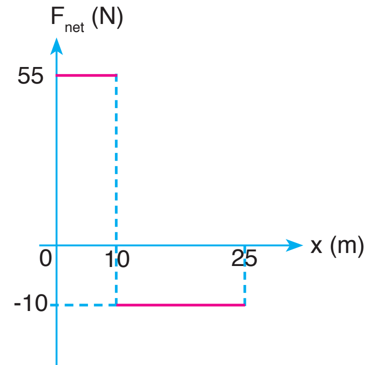
$$\frac{m}{2} \cdot (v_2^2 - v_1^2) = E_{K(SON)} - E_{K(İLK)}$$

$$\frac{1}{2} m \cdot v_2^2 - \frac{1}{2} m \cdot v_1^2 = E_{K(SON)} - E_{K(İLK)}$$

$W = \Delta E_K$ bağıntısı elde edilir.

ÖRNEK 44

Yatay düzlemde durmakta olan 2 kg kütleli cismin $F_{net} - x$ grafiği şekildeki gibidir. Buna göre cismin 25 m sonundaki hızı kaç m/s olur?



ÇÖZÜM

Grafikten;

$W_1 = 55 \cdot 10 = 550\,J$

$W_2 = 10 \cdot 15 = -150\,J$ ise

$W_{net} = 550 - 150 = 400\,J$ olur. Buna göre cisim 400 J kinetik enerji kazanmıştır.

Cisim başlangıçta durmakta olduğu için $E_{K(İLK)} = 0$ olur.

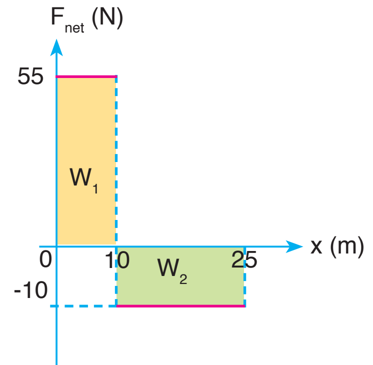
Buna göre

$W_{net} = E_{K(SON)} - E_{K(İLK)}$

$400 = E_{K(SON)} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$

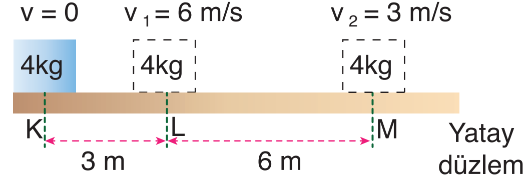
$400 = \frac{1}{2} \cdot 2 \cdot v^2$

$v = 20\,m/s$ bulunur.

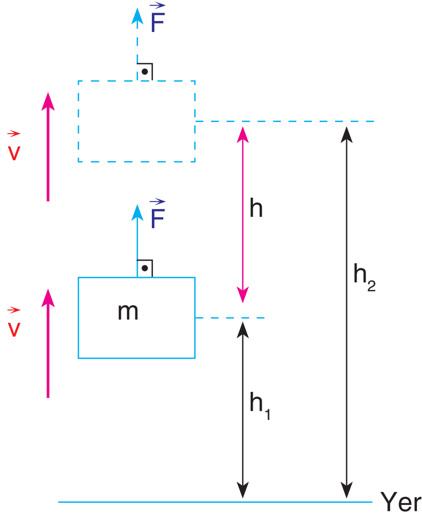




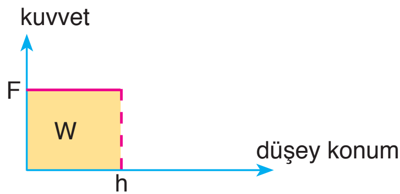
Sıra Sizde 1.31



Başlangıçta durmakta olan 4 kg kütleli cisim düzgün hızlanarak L noktasından 6 m/s hızla, L'den itibaren düzgün yavaşlayarak M noktasından 3 m/s hızla geçiyor. Buna göre cisme uygulanan net kuvvetin konuma bağlı grafiğini çiziniz.



Şekil 1.49 *Cisim h_1 yüksekliğinden h_2 yüksekliğine sabit hızla getirildiğinde yer çekimine karşı iş yapılır.*



Grafik 1.19 *Kuvvet-düşey konum grafiğinden yapılan iş bulunur.*

Sürtünmelerin önemsenmediği bir ortamda m kütleli cisim $\vec{F}$ kuvveti uygulanarak sabit hızla h_1 yüksekliğinden h_2 yüksekliğine çıkarılıyor (Şekil 1.49).

Bu durumda cisme uygulanan kuvvetin büyüklüğü cismin ağırlığı kadar olur. Uygulanan bu kuvvet yer çekimine karşı iş yapar.

9. sınıf fizik derslerinden cisme uygulanan $\vec{F}$ kuvvetinin yaptığı işin cismin potansiyel enerjisindeki değişime eşit olduğunu öğrenmiştiniz.

$$W = \Delta E_P = E_{P(SON)} - E_{P(İLK)} \quad (1)$$

Grafik 1.19'dan $\vec{F}$ kuvvetinin yaptığı iş; $W = F \cdot h$ bulunur.

$F = m \cdot g$ ve $h = h_2 - h_1$ bağıntısından

$$W = m \cdot g \cdot (h_2 - h_1) \quad (2) \text{ elde edilir.}$$

(1) ve (2) numaralı denklemler kullanılarak

$$W = E_{P(SON)} - E_{P(İLK)}$$

$$m \cdot g \cdot (h_2 - h_1) = E_{P(SON)} - E_{P(İLK)}$$

$$m \cdot g \cdot h_2 - m \cdot g \cdot h_1 = E_{P(SON)} - E_{P(İLK)}$$ elde edilir.

Hooke Yasası

Bir cismin üzerine kuvvet uygulandığında cisimde uzama, kısalma, eğrilme gibi değişiklikler oluşabilir. Cisme uygulanan kuvvet ortadan kaldırıldığında, cismin eski şeklini alabilme yani ilk hâline geri dönebilme özelliğine esneklik denildiğini anımsayınız. Esnek bir cisme esneklik sınırlarından daha fazla bir kuvvet uygulandığında cisim esneklik özelliğini kaybeder.

Esnek olan cisimlere örnek olarak yaylar verilebilir. Bir yaya kuvvet uygulandığında yay sıkışır veya uzar (gerilir). Yaya etki eden kuvvet kaldırıldığında yay tekrar eski şekline dönebilir. Yayların, saat mekanizmalarında enerji depolamak (Görsel 1.75), arabayla yolculuk yaparken oluşan sarsıntıyı engellemek (Görsel 1.76), yataklarda yatağa ağırlığımızı yayarak rahat yatmamızı sağlamak (Görsel 1.77), el kantarı ile kütle ölçmek (Görsel 1.78) gibi günlük hayatımızda pek çok kullanım alanı vardır.



Görsel 1.75 *Mekanik saatlerdeki yaylarda depo edilen enerji sayesinde dişlilerin dönmesi sağlanır. Yaydaki gerilme azaldıkça kurma kolu ile yay burularak yeniden enerji depolanması sağlanır.*



Görsel 1.76 *Arabalarda yolculuk sırasında oluşan sarsıntıyı önlemek için amortisör denilen yaylı düzenek kullanılır.*



Görsel 1.77 *Yatak üzerindeki kuvveti dağıtmak ve bu sayede yatağın şeklini konforlu uyku durumuna getirmek için yaylar kullanılır.*



Görsel 1.78 *El kantarının yayı ağırlık nedeniyle uzar.*

Yayın uzama veya sıkışma miktarının, yaya etki eden kuvvetin büyüklüğü ve kullanılan yayın cinsine bağlı olarak nasıl değiştiğini gözlemlemek amacıyla Deney 1.1'i yapalım.



Deney 1.1

Araç Gereçler

- Potansiyel enerji takımı (farklı kalınlıkta yayların bulunduğu 2 adet)
- Üçayak
- Destek çubuğu (2 adet)
- İkili bağlama parçası
- Metal cetvel (30 cm'lik)
- Milimetrik kâğıt

Yayların Uzaması

Amacı: Esnek yaylarda yayın uzama miktarının, yaya uygulanan kuvvete ve yay cinsine göre değişiminin incelenmesi

Deneyin Yapılışı

- Altı kişilik deney kümeleri oluşturunuz. Aşağıdaki deney basamaklarını dikkate alarak görev paylaşımı yapınız.
- Üçayağa destek çubuklarını görseldeki gibi bağlayıp yere paralel olan çubuğa, diğerine göre daha ince olan yayı asınız.
- Yayın boyunu ölçünüz. Yayın ucuna kütle asınız ve yayın uzama miktarını ölçünüz. Ölçüm sonuçlarını Çizelge 1.1'e işleyiniz.



Üç ayağa asılan yay ve kütleler

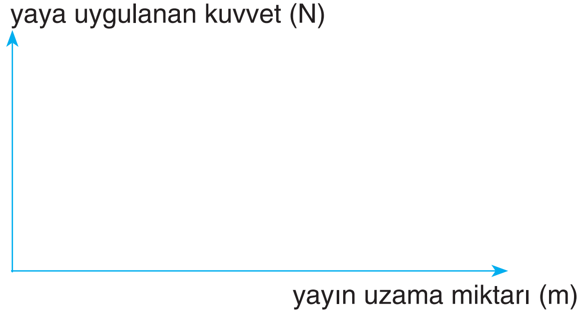
- Yayın ucuna asılan kütle miktarını her seferinde artırarak yayın uzama miktarını çizelgeye yazınız.
- Çizelgedeki verilerden faydalanarak düşey eksen kütleyi, yatay eksen yaydaki uzama miktarını gösterecek şekilde kuvvet-uzama miktarı grafiğini milimetrik kâğıda çiziniz.
- Diğer yayı kullanarak deneyi yineleyiniz. Ölçüm sonuçlarını Çizelge 1.2'ye yazınız ve bu verilerden faydalanarak kuvvet-uzama miktarı grafiğini çiziniz (Grafik 1.20).

Çizelge 1.1 *İlk yayın kullanıldığı deneyin ölçüm sonuçları*

Kuvvet (N)	Uzama miktarı (m)

Çizelge 1.2. Diğer yayın kullanıldığı deneyin ölçüm sonuçları

kuvvet (N)	uzama miktarı (m)



Grafik 1.20 *Deney verileriyle çizilecek grafikler için eksenler sistemi*

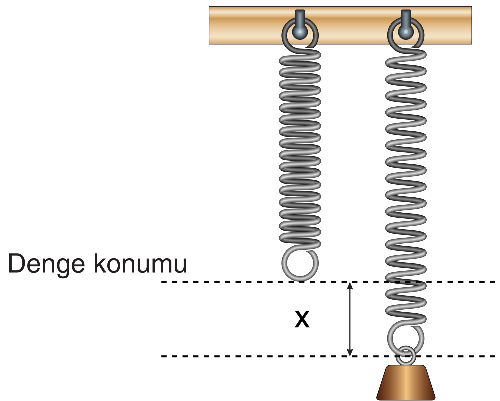
Sonuca Varalım

1. Yayın ucuna asılan kütleler ile yayın uzama miktarı arasında nasıl bir ilişki vardır? Açıklayınız.

2. Kalınlıkları farklı yaylara aynı kütleler asıldığında, yaylardaki uzama miktarları farklı mıdır? Sizce sebebi ne olabilir?

3. Çizilen grafikler arasında fark var mıdır? Yorumlayınız.

Bir yay serbestken yani yaya kuvvet uygulanmadığında, yay denge konumundadır. Yayın ucuna bir cisim asıldığında yaydaki uzama miktarı, yayın denge konumuna göre bulunur (Şekil 1.50).



Şekil 1.50 *Yayın denge durumu ve uzama miktarı*

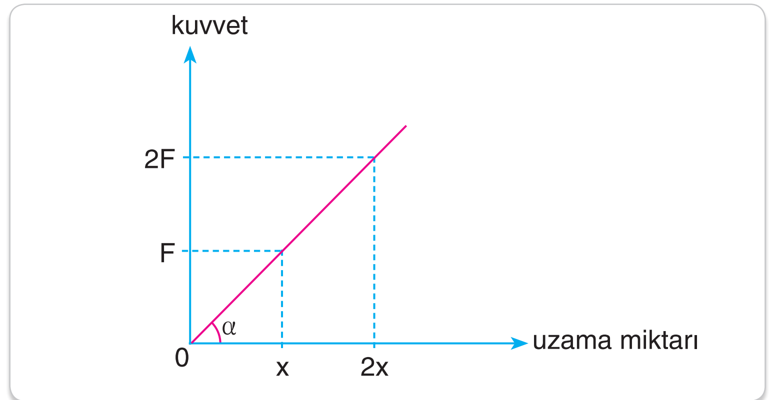
Yayın ucuna bir cisim asılıp yeni denge sağlandığında, yayı geren kuvvetin büyüklüğü cismin ağırlığına eşit olur.

Deney 1.1'de farklı kalınlıktaki yaylar için çizilen grafiklerin eğimlerinin farklı olduğunu gördünüz. Bu eğim yayın cinsine bağlıdır. Kalın ve ince yaylara uygulanan kuvvetler aynı ise ince yaydaki uzama miktarı, kalın yaydaki uzama miktarına göre daha fazladır. Yayın uzama miktarı yayın esnekliğine, yapıldığı maddeye, helezon sayısına, sertliğine bağlıdır. Tüm bu özellikler yayın cinsini belirler ve yay sabiti olarak ifade edilir. Görsel 1.79'da farklı cinslerdeki yaylar gösterilmiştir.



Görsel 1.79 *Yayların yay sabiti, yayın yapıldığı maddeye ve şekline bağlıdır.*

Grafik 1.21'de bir yaya uygulanan kuvvet ve yaydaki uzama miktarı grafiği verilmiştir. Yaya F kuvveti uygulandığında, yaydaki uzama miktarı x ve yaya 2F kuvveti uygulandığında yaydaki uzama miktarı 2x'tir. Bu grafiğin eğimi bize yay sabitini verir.



Grafik 1.21 *Yaydaki uzama miktarının yaya uygulanan kuvvetle değişim grafiği*

Eğim $= \tan\alpha = \frac{F}{x} = \frac{2F}{2x} =$ sabit olur ki bu sabit her yay için farklı olup o yayın **"yay sabiti"** olarak adlandırılır. Yay sabiti k ile gösterilir. Birimi N/m'dir.

Esnek bir yay x kadar sıkıştırıldığında veya x kadar gerildiğinde, yaydaki geri çağırıcı kuvvet,

$\vec{F}_{yay} = -k \cdot \vec{x}$ şeklinde ifade edilir. Bu bağıntı **"Hooke (Huk) Kanunu"** olarak bilinir ve bağıntıdaki "–" işareti yayda oluşan geri çağırıcı kuvvet ile yaydaki uzamanın (veya kısalmanın) zıt yönlü olduğunu anlatır.

Yayların Bağlanması

Çevremizde kullandığımız araç ve gereçlerde, teknik olarak istenilen özellikleri sağlamak amacıyla birden fazla yay kullanılabilir. Bu yaylar birbirlerine farklı şekillerde eklenebilir. Yayların bağlanış şekillerine göre sistemin yay sabiti belirlenir. Sistemin yay sabitine **"eşdeğer yay sabiti"** denir. Eşdeğer yay sabiti $k_{eş}$ şeklinde ifade edilir. Yaylar seri ve paralel olarak bağlanır.

1. Seri Bağlı Yaylar

Şekil 1.51'deki biçimde uç uca eklenen yaylar seri bağlanmıştır. Yay sabitleri k_1 ve k_2 olan yayların ucuna asılan cismin ağırlığından dolayı yayların her birine cismin ağırlığı kadar kuvvet ($\vec{F}$) etki eder. Yay sabiti k_1 olan yaydaki uzama miktarı x_1, yay sabiti k_2 olan yaydaki uzama miktarı x_2 ise sistemdeki toplam uzama miktarı,

$x_T = x_1 + x_2$ olur.

Hooke Bağıntısı her bir yay için yazıldığında,

$\vec{F} = k_1 \cdot \vec{x}_1$ ve $\vec{F} = k_2 \cdot \vec{x}_2$ ise

$\frac{F}{k_1} = x_1$ ve $\frac{F}{k_2} = x_2$ olur.

Buna göre

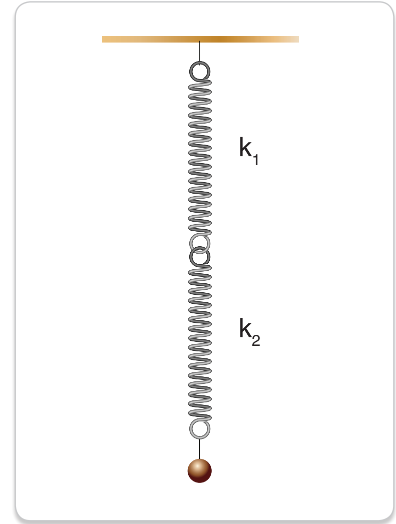
$F = k_{eş} \cdot x_T$ ise $x_T = \frac{F}{k_{eş}}$ olur.

$x_T = x_1 + x_2$

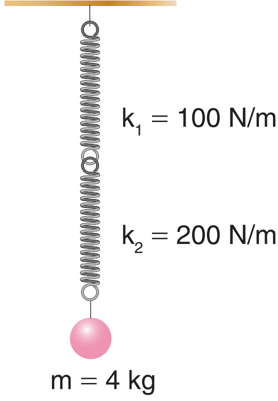
$\frac{F}{k_{eş}} = \frac{F}{k_1} + \frac{F}{k_2}$ ise

sistemin eşdeğer yay sabiti

$\frac{1}{k_{eş}} = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2}$ bağıntısı ile bulunur.



Şekil 1.51 *Yay sabitleri farklı iki yayın seri olarak bağlanması*



ÖRNEK 45

Yay sabitleri $k_1 = 100$ N/m ve $k_2 = 200$ N/m olan iki yay şekildeki gibi seri olarak bağlanarak sisteme kütlesi 4 kg olan cisim asılıyor. Buna göre

a) Sistemin eşdeğer yay sabitini bulunuz.

b) Yaylardaki uzama miktarlarını bulunuz.

(g = 10 N/kg alınız.)

ÇÖZÜM

a) Yaylar seri bağlanmıştır ve eşdeğer yay sabiti,

$\frac{1}{k_{eş}} = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2}$ bağıntısından,

$\frac{1}{k_{eş}} = \frac{1}{100} + \frac{1}{200}$ ve $k_{eş} = \frac{200}{3}$ N/m bulunur.

b) Yaylarda oluşan geri çağırıcı kuvvet cismin ağırlığı kadardır. Cismin ağırlığı $\vec{G} = m \cdot \vec{g} = 4 \cdot 10 = 40$ N'dur.

$F = G = 40$ N olur.

Yaylardaki uzama miktarı

$\frac{F}{k_1} = x_1$ ise $x_1 = \frac{40}{100}$ ve $x_1 = 0,4$ m

$\frac{F}{k_2} = x_2$ ise $x_2 = \frac{40}{200}$ ve $x_2 = 0,2$ m bulunur.



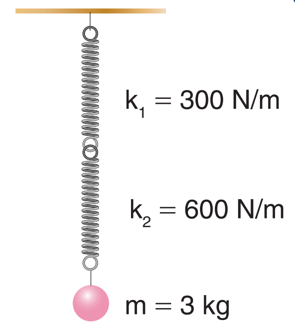
Sıra Sizde 1.32

Yay sabitleri $k_1 = 300$ N/m ve $k_2 = 600$ N/m olan iki yay şekildeki gibi seri olarak bağlanarak sisteme kütlesi 3 kg olan cisim asılıyor. Buna göre

a) Sistemin eşdeğer yay sabitini bulunuz.

b) Yaylardaki uzama miktarlarını bulunuz.

(g = 10 N/kg alınız.)



2. Paralel Bağlı Yaylar

Yay sabitleri k_1 ve k_2 olan Şekil 1.52'deki iki yay paralel bağlanmıştır.

Yayların her bir ucu aynı noktalar arasında bağlandığı için yaylar eşit miktarda uzar.

$x_T = x_1 = x_2 = x$ olsun.

Yaylara etki eden kuvvetlerin toplamı cismin ağırlığına eşit olur. Yaylara etki eden kuvvetler $\vec{F}_1$ ve $\vec{F}_2$ ise sisteme etki eden toplam kuvvetin büyüklüğü,

$F_T = F_1 + F_2$ dir.

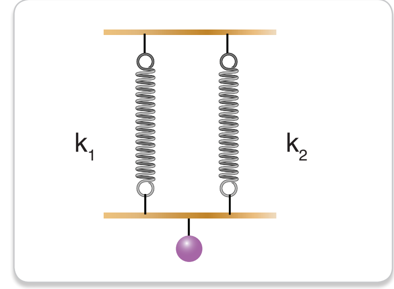
Sistem için Hooke Bağıntısı'nı yazarak sistemin eşdeğer yay sabitini bulabiliriz.

$k_{eş} \cdot x_T = k_1 \cdot x_1 + k_2 \cdot x_2$

$k_{eş} \cdot x = k_1 \cdot x + k_2 \cdot x$

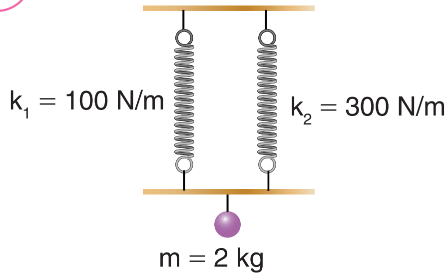
Sistemin eşdeğer yay sabiti,

$k_{eş} = k_1 + k_2$ bağıntısı ile bulunur.



Şekil 1.52 *Yay sabitleri farklı iki yayın paralel olarak bağlanması*

ÖRNEK 46



Yay sabitleri $k_1 = 100$ N/m ve $k_2 = 300$ N/m olan iki yay şekildeki gibi paralel olarak bağlanarak sisteme kütlesi 2 kg olan cisim asılıyor. Buna göre;

a) Sistemin eşdeğer yay sabitini bulunuz.

b) Yaylardaki uzama miktarlarını bulunuz. (g=10 N/kg alınız.)

ÇÖZÜM

a) Yaylar paralel bağlanmıştır. Buna göre

$k_{eş} = k_1 + k_2$ bağıntısından,

$k_{eş} = 100 + 300 = 400$ N/m bulunur.

b) Yay sistemine cismin ağırlığı kadar kuvvet etki etmektedir.

$F = G = m \cdot g = 2 \cdot 10 = 20$ N'dır. Sistem için Hooke Bağıntısı'nı yazarsak

$F = k_{eş} \cdot x$

$20 = 400 \cdot x$

$x = 0{,}05$ m bulunur.



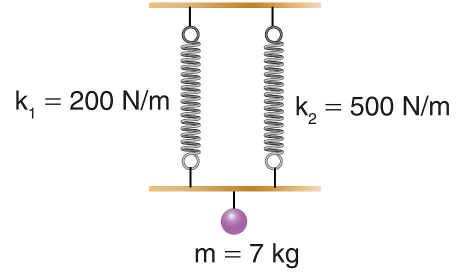
Sıra Sizde 1.33

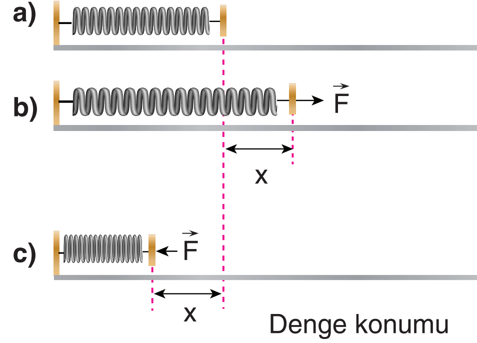
Yay sabitleri $k_1 = 200$ N/m ve $k_2 = 500$ N/m olan iki yay şekildeki gibi paralel bağlanarak ucuna kütlesi 7 kg olan cisim asılıyor. Buna göre

a) Sistemin eşdeğer yay sabitini bulunuz.

b) Yaylardaki uzama miktarlarını bulunuz.

(g = 10 N/kg alınız.)





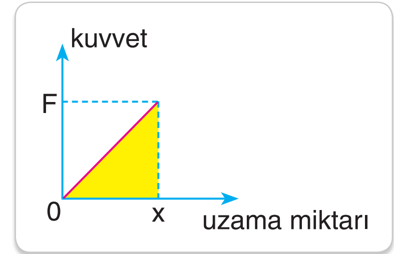
***Şekil 1.53 a)** Denge durumundaki yay **b)** x kadar gerilen yay **c)** x kadar sıkıştırılan yay*

Sistemlerin veya cisimlerin kendilerine özgü özellikleriyle (konum, esneklik gibi) depolayabildikleri enerji türlerine genel olarak potansiyel enerji dendiğini biliyorsunuz.

Şekil 1.53'te esnek bir yayın denge durumu, F kuvvetiyle x kadar gerilmesi ve x kadar sıkıştırılması durumları gösterilmiştir. Yay, uygulanan F kuvvetinin etkisiyle x kadar çekiliyor veya sıkıştırılıyorsa kuvvet iş yapıyor demektir. Üzerine iş yapılan bir cismin enerji kazandığını 9. sınıf fizik konularından öğrenmiştiniz. Yaya uygulanan kuvvet, yayı x kadar gererek (veya sıkıştırarak) yayda enerji depolanmasına sebep olmuştur. Yayda depolanan bu enerjiye de **"esneklik potansiyel enerjisi"** dendiğini hatırlayınız.

Şekil 1.53'teki gibi bir yay x kadar sıkıştırılır veya uzatılırsa kuvvet-uzama miktarı grafiği Grafik 1.22'deki gibi olur.

Kuvvet-konum grafiğindeki alanın yapılan işe ya da başka bir deyişle enerjideki değişime eşit olduğunu anımsayınız. Yaya uygulanan kuvvet tarafından yapılan iş, yaydaki enerji değişimine eşittir. Kuvvet-uzama miktarı grafiğinin altında kalan alan, yayda depolanan esneklik potansiyel enerjisine eşittir.



Grafik 1.22 *Yayın kuvvet-uzama miktarı grafiği*

Grafik 1.22'deki alanı hesaplarsak

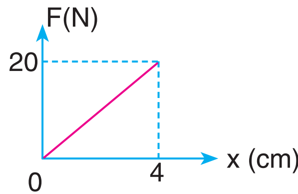
$E_p = \frac{F \cdot x}{2}$ bulunur.

$F = k \cdot x$ ise

$E_p = \frac{k \cdot x \cdot x}{2}$ olur. Yayda depolanan potansiyel enerji,

$E_p = \frac{1}{2} k \cdot x^2$ bulunur.

ÖRNEK 47



Kuvvet-uzama miktarı grafiği şekildeki gibi olan esnek bir yay 8 cm sıkıştırıldığında,

a) Yayın cisme uyguladığı kuvvet kaç N'dır?

b) Yayda depolanan potansiyel enerji kaç J'dür?

ÇÖZÜM

F-x grafiğinin eğimi yay sabitini verir. Yay sabiti,

$k = \frac{F}{x} = \frac{20}{4 \cdot 10^{-2}}$

$k = 500$ N/m bulunur.

a) Yay 8 cm sıkıştırıldığında yayın cisme uyguladığı kuvvet,

$F = k \cdot x$

$F = 500 \cdot 8 \cdot 10^{-2}$

$F = 40$ N olarak bulunur.

b) Yayda depolanan esneklik potansiyel enerjisi,

$E_P = \frac{1}{2} k \cdot x^2$

$E_P = \frac{1}{2} \cdot 500 \cdot (8 \cdot 10^{-2})^2$

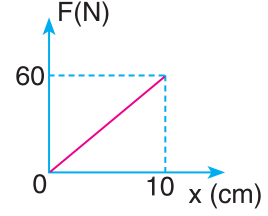
$E_P = 1,6$ J bulunur.

Sıra Sizde 1.34

Kuvvet-uzama miktarı grafiği şekildeki gibi olan esnek yay için;

a) Uzama miktarı 2 cm olduğunda, yaya uygulanan kuvveti,

b) Potansiyel enerjisi 12 J olduğunda yaydaki uzama miktarını bulunuz.





Görsel 1.80 Dünya'nın enerji kaynağı Güneş

1.6.2. Mekanik Enerjinin Korunumu

Dünya'daki tüm canlıların hayatını sürdürebilmesi için en önemli enerji kaynağı Güneş'tir (Görsel 1.80). Güneş enerjisi Dünya'ya ısı ve ışık enerjisi olarak aktarılır. Güneş ışınlarının tamamı yer yüzeyine ulaşamaz, bir kısmı atmosfer tarafından geriye yansıtılır. Güneş ışınlarının %50'si atmosferi geçerek Dünya yüzeyine ulaşır. Bu enerji Dünya'da farklı enerji türlerine dönüşür. Gelen enerji ile Dünya ısınır ve canlı yaşamı devam eder.

Güneş enerjisinin neden olduğu sıcaklık artışı rüzgâr hareketlerine ve okyanustaki dalgalanmalara sebep olur. Dünya'ya ulaşan Güneş enerjisinin yaklaşık %2 kadarı rüzgâr enerjisine dönüşür. Rüzgâr enerjisi yelkenli bir tekneyi hızlandırarak tekneye kinetik enerji kazandırabilir (Görsel 1.81).



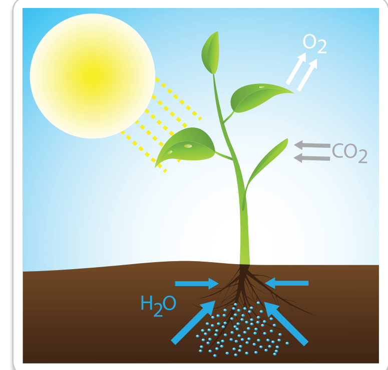
Görsel 1.81 *Rüzgâr enerjisi yelkenleri hızlandırabilir.*

Görsel 1.82'de görüldüğü gibi yerdeki yaprakları uçurarak yapraklara hem kinetik hem de potansiyel enerji kazandırabilir. Rüzgâr enerjisinden elektrik enerjisi de elde edilebilmektedir (Görsel 1.83).

Güneş'ten yeryüzüne gelen ışınımın %1'inden daha azı bitkiler tarafından fotosentez olayında kullanılır. Bitkiler karbondioksit, su ve Güneş ışığını birlikte kullanarak oksijen ve şeker üretir. Fotosentez, yeryüzünde bitkisel yaşamın kaynağıdır (Şekil 1.54).



Görsel 1.82 *Rüzgârda uçuşan yapraklar kinetik ve potansiyel enerji kazanır.*



Şekil 1.54 *Bitkiler güneşten aldıkları enerjiyi kullanarak besine dönüştürür.*

Güneş'ten gelen enerji sürekli olarak bir türden başka bir tür enerjiye dönüşür. Dünya'da nükleer enerji dışındaki bütün enerjilerin kaynağı Güneş'tir. Bazı enerji türlerinin doğrudan kaynağı, bazılarının ise dolaylı yollardan kaynağıdır. Farklı enerji türlerine dönüşse de sonunda ısıya dönüşür. Dünya'ya gelen tüm Güneş enerjisi uzaya geri verilir.

Evrendeki enerjinin bir türden başka bir türe dönüşebildiğini ve evrenin toplam enerjisinin daima sabit kaldığını 9. sınıf fizik dersinde öğrenmiştiniz. Bu durumun **Enerjinin Korunumu** olarak ifade edildiğini anımsayınız.



Görsel 1.83 *Rüzgâr türbinlerinden elektrik enerjisi elde edilir.*

Son yıllarda yaptığı çalışmalarla adını duyuran Canan Dağdeviren iç organlarının mekanik enerjisini (kalp atışları, soluk alıp verirken diyafram hareketleri gibi) elektrik enerjisine dönüştürebilen ve depolayabilen giyilebilir bir kalp pili yapmayı başarmıştır (Görsel 1.84). Böylelikle kalp pili kullanan kişilerin pili değiştirmek için altı yedi senede bir ameliyat olmasına gerek kalmamıştır. Canan Dağdeviren Harward (Harvırd) Üniversitesinin Genç Akademi Üyeliği'ne seçilen ilk Türk araştırmacıdır. Bunun yanı sıra Forbes Dergisi'nin 30 Yaşından Küçük 30 Bilim İnsanı Listesi'nde ve MIT Technology Review'un (EmAyTi Teknoloci Riviuv) her yıl düzenlediği 35 Yaş Altı Mucitler Listesi'nde yer almıştır.



Görsel 1.84 *Canan Dağdeviren*



Görsel 1.85 *Kar kayağı yapan sporcu*

Dedesinin 28 yaşında kalp rahatsızlığından öldüğünü öğrendikten sonra hayal yaşını 28 olarak belirlediğini ve hedefi için gerekli çalışmaları nasıl yaptığını *"http://bilimgenc.tubitak.gov.tr/makale/abdde-basaridan-basariya-kosan-bir-turk-kizi-dr-canan-dagdeviren* adresindeki röportajından öğrenebilirsiniz.

Toplam enerjinin sabit olması, bir tür enerji azalırken başka bir tür enerjinin artıyor olması demektir. Görsel 1.85'te kar kayağı yapan sporcu bir tepeden aşağıya doğru düşerken potansiyel enerjisi azalır ve kinetik enerjisi artar.



Biliyor musunuz?

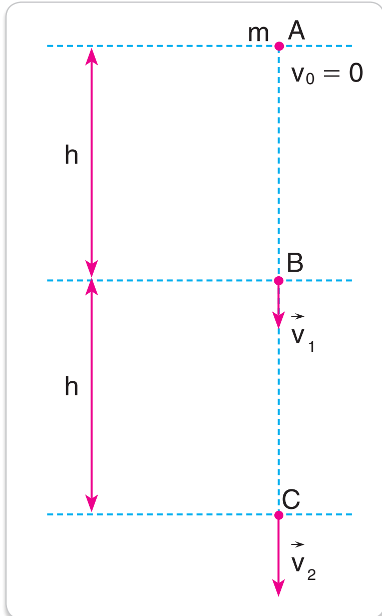
Canan Dağdeviren liseli gençlerle yaptığı bir söyleşide;

• Üniversite hayatım boyunca hep burslu okudum ve tutkuyla bağlandığım alanda çalıştım. Bunu hayallerimin peşinden koşmaya borçluyum.

• Başarımın sırrını yaşamayı ciddiye almaya bağlıyorum. Az zamanda çok işler yapmaya çalışıyorum. Bunları sizlerin de yapacağınıza inanıyorum. Ben de sizler gibi bu ülkede doğdum, sizin okuduğunuz sıralarda okudum, daha sonra kendi rotamı çizdim ve yeteneğim olduğu bir alanda çalışıyorum.

• "Yaptığım çalışmalarla farkındalık yaratmak, sizler gibi genç insanların beyninde ve kalbinde ben de yapabilirim fikrini yaratmak beni çok mutlu ediyor."

• "İyi bir bilim insanı olmayı hayal ediyorsanız öncelikle soru sormanızı istiyorum. Soru sormak çok büyük bir erdem." tavsiyelerinde bulunmuştur.



Şekil 1.55 *A noktasından serbest bırakılan cismin A, B ve C noktalarındaki mekanik enerjileri eşittir.*

Bir maddenin sahip olduğu potansiyel enerji (E_P) ve kinetik enerjileri (E_K) toplamının **mekanik enerji** (E_{TOPLAM}) olarak ifade edildiğini biliyorsunuz. Sürtünmelerin ihmal edildiği ortamlarda, cismin ya da sistemin sahip olduğu toplam mekanik enerji daima sabit kalır. Sahip olunan kinetik ve potansiyel enerjilerden birisinin artarken diğerinin azalmasına rağmen toplamı değişmemektedir. Buna göre $E_{TOPLAM} = E_K + E_P$ bağıntısını yazabiliriz.

Sürtünmelerin ihmal edildiği bir ortamda Şekil 1.55'teki gibi A noktasından serbest düşmeye bırakılan m kütleli bir cismin A, B ve C noktalarındaki enerji durumlarını inceleyelim.

Cisim A noktasında iken sadece potansiyel enerjisi vardır.

$E_{PA} = m \cdot g \cdot 2h = 2mgh$ ise

$E_{TOPLAM} = E_{PA}$

$E_{TOPLAM} = 2mgh$ olur.

Cismin mekanik enerjisi 2mgh kadardır ve ortam sürtünmesiz olduğu için her zaman korunacaktır.

Cisim B noktasında iken hem potansiyel enerjisi hem de kinetik enerjisi vardır.

B noktasındaki potansiyel enerjisi, $E_{PB} = m \cdot g \cdot h$ olur.

Cismin mekanik enerjisi korunduğuna göre

$E_{TOPLAM} = E_{PB} + E_{KB}$

$2mgh = mgh + E_{KB}$

$mgh = E_{KB}$

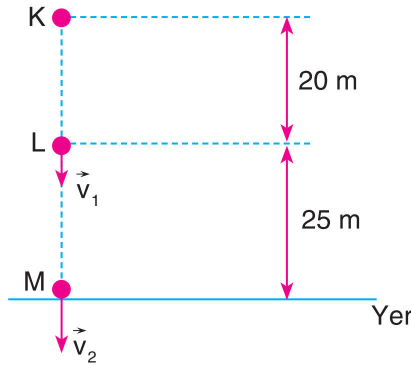
$mgh = \frac{1}{2} m \cdot v_1^2$ olur.

Cisim C noktasında yere çarptığı anda potansiyel enerjisi sıfır olur ve toplam enerjisi kinetik enerjiye dönüşür. Bu durumda

$E_{TOPLAM} = E_{KC}$

$2mgh = \frac{1}{2} m \cdot v_2^2$ olur.

ÖRNEK 48



Sürtünmelerin ihmal edildiği bir ortamda şekildeki gibi K noktasından serbest düşmeye bırakılan 2 kg kütleli bir cismin L noktasından geçerken hızı v_1, M noktasında yere çarpma hızı ise $\vec{v}_2$ dir. $\vec{v}_1$ ve $\vec{v}_2$ hızlarını bulunuz. (g = 10 N/kg alınız.)

ÇÖZÜM

Cisim K noktasında iken sadece potansiyel enerjisi vardır.

$E_{PK} = m \cdot g \cdot h$

$E_{PK} = 2 \cdot 10 \cdot (20 + 25) = 900$ J ise cismin mekanik enerjisi

$E_{TOPLAM} = E_{PK} = 900$ J olur.

Cisim L noktasında iken hem potansiyel enerjisi hem de kinetik enerjisi vardır.

L noktasındaki potansiyel enerjisi

$E_{PL} = m \cdot g \cdot h = 2 \cdot 10 \cdot 25 = 500$ J olur.

Cismin mekanik enerjisi korunduğuna göre

$E_{TOPLAM} = E_{PL} + E_{KL}$

$900 = 500 + \frac{1}{2} m \cdot v_1^2$

$\frac{1}{2} \cdot m \cdot v_1^2 = 400$

$\frac{1}{2} \cdot 2 \cdot v_1^2 = 400$ ise $v_1 = 20$ m/s bulunur.

Cisim M noktasında yere çarptığı anda potansiyel enerjisinin tamamı kinetik enerjiye dönüşür. Bu durumda

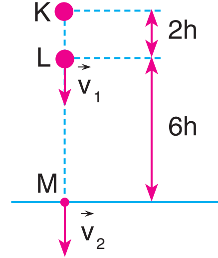
$E_{TOPLAM} = E_{KM}$

$900 = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_2^2$ olur.

$\frac{1}{2} \cdot 2 \cdot v_2^2 = 900$ ise $v_2 = 30$ m/s bulunur.



Sıra Sizde 1.35

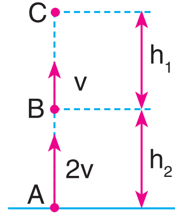


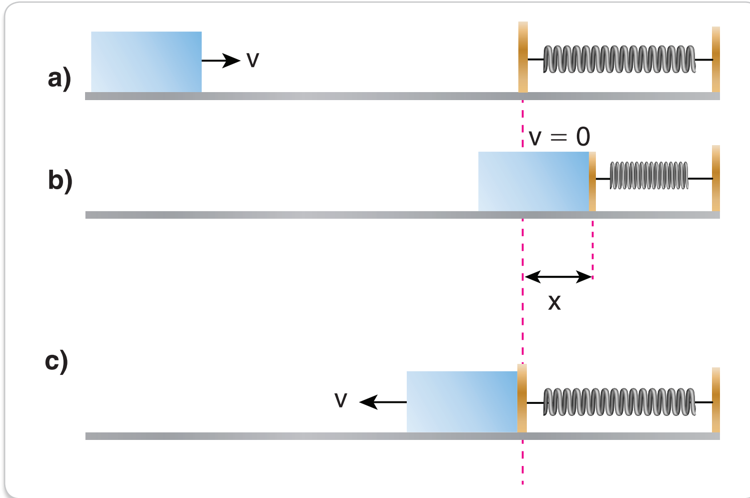
Sürtünmelerin ihmal edildiği bir ortamda şekildeki gibi K noktasından serbest düşmeye bırakılan m kütleli bir cismin L noktasından geçerken hızı $\vec{v}_1$, M noktasında yere çarpma hızı ise $\vec{v}_2$ olduğuna göre hızların $\frac{v_1}{v_2}$ oranı kaçtır?



Sıra Sizde 1.36

Sürtünmelerin ihmal edildiği bir ortamda şekildeki gibi A noktasından 2v büyüklüğündeki ilk hızla düşey olarak aşağıdan yukarıya doğru atılan m kütleli cismin B noktasından geçerken hızının büyüklüğü v olduğuna göre, $\frac{h_1}{h_2}$ oranı kaçtır? (Hava sürtünmesini ihmal ediniz. C noktası cismin çıkabileceği maksimum yüksekliktir.)





***Şekil 1.56** Sürtünmesiz yatay düzlemdeki cisim yaya çarptığı andan itibaren kinetik enerjisi azalırken yayda esneklik potansiyel enerjisi depolanmaya başlar.*

Şekil 1.56.a'da m kütleli bir cisim sürtünmesiz yatay düzlemde v büyüklüğündeki hızla, denge durumunda olan bir yaya doğru ilerliyor. Bu durumda cismin hızından dolayı kinetik enerjisi vardır. Yay denge konumunda olduğu için esneklik potansiyel enerjisi yoktur. Buna göre sistemdeki toplam enerji,

$$E_{TOPLAM} = E_K = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 \text{ olur.}$$

Şekil 1.56.b'de cisim yayı maksimum sıkışma miktarı olan x kadar sıkıştırdığında cisim durur ve yayda esneklik potansiyel enerjisi depolanır. Sistemdeki kinetik enerjinin tamamı yayda esneklik potansiyel enerjisine dönüşmüştür.

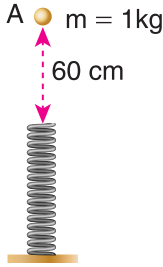
$E_{TOPLAM} = E_P = \frac{1}{2} \cdot k \cdot x^2$ ise mekanik enerji korunduğundan

$E_P = E_K$

$\frac{1}{2} \cdot k \cdot x^2 = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$ olur.

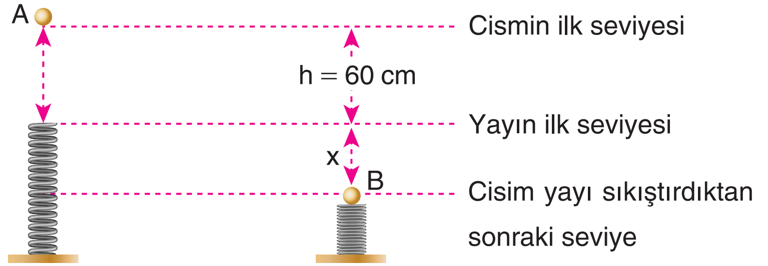
Şekil 1.56.c'de yay cismi fırlatır. Yay denge konumuna geldiğinde yayın esneklik potansiyel enerjisi sıfır olur. Yaydaki esneklik potansiyel enerjisinin tamamı kinetik enerjiye dönüşür ve $E_{TOPLAM} = E_K = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$ olur.

ÖRNEK 49



Şekildeki gibi sürtünmesiz ortamda düşey doğrultuda tutulan bir yayın 60 cm üzerindeki A noktasından 1 kg kütleli cisim serbest bırakılıyor. Yay sabiti 200 N/m olduğuna göre yay en fazla kaç cm sıkışır? (g = 10 N/kg alınız. Hava sürtünmesini ihmal ediniz.)

ÇÖZÜM



Cismin A noktasında sadece potansiyel enerjisi vardır. Yayın sıkışma miktarı x kadar olmak üzere bu potansiyel enerjiyi yayın maksimum sıkışma seviyesine (B noktasına) göre yazarsak, $E_{P(cisim)} = m \cdot g \cdot (h + x)$ olur. Cisim bu kadar potansiyel enerjisini yaya esneklik potansiyel enerjisi olarak aktarır.

Yayda depo edilen bu enerji $E_{P(yay)} = \frac{1}{2} \cdot k \cdot x^2$ kadardır. Enerjinin korunumundan dolayı sistemin sahip olduğu ilk enerji, son enerjisine eşit olacağından;

$E_{P(cisim)} = E_{P(yay)}$

$m \cdot g \cdot (h + x) = \frac{1}{2} \cdot k \cdot x^2$

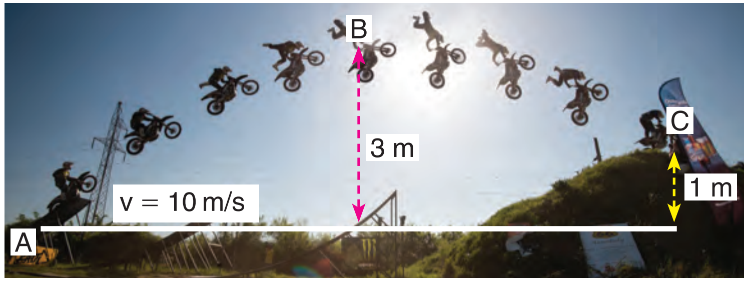
$1 \cdot 10 \cdot (0,6 + x) = \frac{1}{2} \cdot 200 \cdot x^2$ olur.

Buradan,

$x = 0,3$ m

$= 30$ cm bulunur.

ÖRNEK 50



Bir akrobasi gösterisinde şov için hazırlanmış rampadan atlayan bir motosikletlinin hareketi görseldeki gibidir. Motosikletli A noktasından 10 m/s hızla fırlayarak ancak B noktasına kadar çıkabilmiştir. B noktasından geçiş hızı $\vec{v}_B$ ve C noktasına çarpma hızı $\vec{v}_C$ dir. Buna göre $\vec{v}_B$ ve $\vec{v}_C$ hızlarını bulunuz. (Sürtünmeler ihmal ediliyor. (g = 10 N/kg alınız.)

ÇÖZÜM

Motosikletlinin yaptığı hareket daha önceki konulardan öğrendiğiniz eğik atış hareketi gibidir. Eğik atış konusunda öğrendiğinizden farklı olarak bu soruyu enerjinin korunumunu dikkate alarak çözebilirsiniz.

Sürtünmeler ihmal edildiğine göre motosikletlinin mekanik enerjisi korunmaktadır. A noktasındaki kinetik enerjisi mekanik enerjisine eşittir.

$E_{K(A)} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_A^2$

$E_{K(A)} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot 10^2 = 50 \cdot m$ ise

$E_{TOPLAM} = E_{K(A)}$

$E_{TOPLAM} = 50m$ olur.

Çıkabildiği maksimum yükseklik B noktasıdır. Bu noktada yatay hızından dolayı kinetik enerjisi ve yüksekliğinden dolayı potansiyel enerjisi vardır.

$E_{TOPLAM} = E_{P(B)} + E_{K(B)}$

$E_{TOPLAM} = m \cdot g \cdot h_B + \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_B^2$

$E_{TOPLAM} = m \cdot 10 \cdot 3 + \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_B^2$

$50 \cdot m = 30 \cdot m + \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_B^2$

$\frac{1}{2} \cdot m \cdot v_B^2 = 20 \cdot m$ ise $v_B^2 = 40$ ve $v_B = 2\sqrt{10}$ m/s bulunur.

Motosiklet C noktasında iken hem potansiyel hem de kinetik enerjisi vardır.

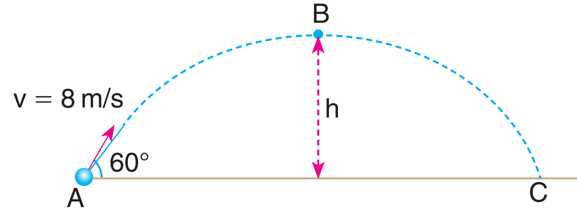
$E_{TOPLAM} = E_{P(C)} + E_{K(C)}$

$50 \cdot m = m \cdot g \cdot h_C + \frac{1}{2} m \cdot v_C^2$

$50 \cdot m = m \cdot 10 \cdot 1 + \frac{1}{2} m \cdot v_C^2$ ise $v_C^2 = 80$ ve $v_C = 4\sqrt{5}$ m/s bulunur.



Sıra Sizde 1.37



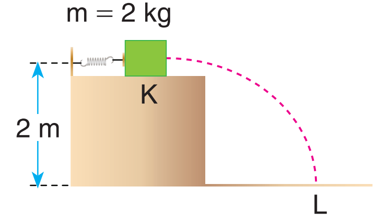
Sürtünmesiz bir ortamda A noktasından 8 m/s ilk hızla şekildeki gibi eğik atış yaptırılan golf topunun çıkabildiği en yüksek nokta B noktasıdır.

Buna göre h yüksekliği kaç m'dir?

($\sin 60° = \frac{\sqrt{3}}{2}$; $\cos 60° = \frac{1}{2}$ ve g = 10 N/kg alınız. Hava sürtünmesini ihmal ediniz.)

ÖRNEK 51

Sürtünmesi önemsiz zeminde, yay sabiti 200 N/m olan bir yay 0,3 m sıkıştırılıp önüne 2 kg kütleli bir takoz konuluyor. Yay serbest bırakıldıktan sonra takoz şekildeki yörüngeyi izleyerek L noktasında yere çarpıyor. Takozun yere çarpma hızını bulunuz.



ÇÖZÜM

Sıkıştırılan yayda depolanan esneklik potansiyel enerjisi

$$E_{P(yay)} = \frac{1}{2} \cdot k \cdot x^2$$

$$E_{P(yay)} = \frac{1}{2} \cdot 200 . (0,3)^2 = 9 \text{ J bulunur.}$$

Takoz serbest bırakıldığında yayda depolanan enerji, kinetik enerjiye dönüşür.

$$E_{P(yay)} = E_{K(K)} = 9 \text{ J}$$

Takozun K noktasında sahip olduğu mekanik enerji, kinetik enerjisi ile potansiyel enerjisinin toplamıdır.

$$E_{TOPLAM} = E_{K(K)} + E_{P(K)}$$

$$E_{TOPLAM} = 9 + m \cdot g \cdot h$$

$$E_{TOPLAM} = 9 + 2 \cdot 10 \cdot 2$$

$$E_{TOPLAM} = 49 \text{ J olur.}$$

Ortam sürtünmesiz olduğu için mekanik enerji korunur. Takozun L noktasında sadece kinetik enerjisi vardır. Bu durumda mekanik enerji kinetik enerjiye eşit olduğundan,

$$E_{TOPLAM} = E_{K(L)}$$

$$E_{TOPLAM} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$$

$$49 = \frac{1}{2} \cdot 2 \cdot v^2 \text{ ise } v = 7 \text{ m/s bulunur.}$$

1.6.3. Sürtünmeli Yüzeylerde Enerji Korunumu ve Dönüşümleri



Görsel 1.86 *Ellerini ovuşturan kişi*



Görsel 1.87 *Yarış arabası fren yaparken*



Görsel 1.88 *Kaykayla kayan kişi*



Görsel 1.89 *Usta testere ile metali keserken*

Görsel 1.86'daki kişi ellerini ovuştururken sizce ne hissedebilir? Görsel 1.87'deki gibi yarış arabası hızla giderken frene basıldığında lastiklerinden duman çıkmasının sebebi nedir?

Görsel 1.88'deki kaykayla kayan kişinin ayağıyla yere kuvvet uygulamayı bırakmasından bir süre sonra kaykayın yavaşlayıp durmasını nasıl yorumlarsınız?

Bir cisim pürüzlü bir yüzeyde veya su, hava gibi akışkanlar içinde hareket ediyorsa çevresi ile arasındaki etkileşmeden dolayı harekete karşı bir direnme doğar. Bu direnmenin **sürtünme kuvveti** olduğunu daha önceki yıllardan anımsayınız.

Günlük hayatta kullanılan araçlarda, harcanan enerji ile üretilen enerji birbirine eşit olmaz. Yani hiçbir zaman %100 verimle çalışmazlar. Harcanan enerjinin tamamı istenilen şekilde kullanılamaz. Bunun sebebi sürtünmeden dolayı enerjinin bir kısmının genel olarak ısı enerjisine dönüşmesidir.

Görsel 1.89'daki usta testere ile metali keserken yüksek sesle beraber kıvılcımlar çıkar. Burada sürtünmenin yaptığı iş; ısı, ışık ve ses enerjisine dönüşmektedir.

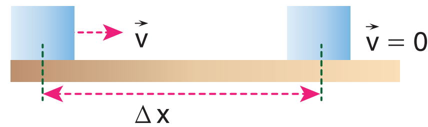
Şekil 1.57'deki gibi sürtünmeli yatay düzleme v hızıyla giren bir cisim yavaşlar ve bir süre sonra durur. Hareket boyunca cismin kinetik enerjisi azalır ve bittiği zaman cisim durur. Cismin kaybettiği kinetik enerji, ısı enerjisine dönüşmüştür. Bunun sebebi sürtünme kuvvetinin, hareket sırasında negatif iş yapmasıdır.

Sürtünme kuvvetinin yaptığı işin,

$W_s = -f_s \cdot \Delta x$ bağıntısıyla bulunduğunu anımsayınız.

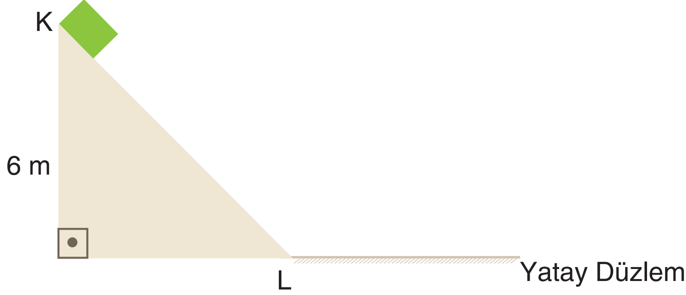
Sürtünmeli bir ortamda hareket eden cismin ısıya dönüşen enerjisi, cismin ilk ve son durumdaki mekanik enerjileri farkına eşittir. Bu fark bize sürtünmenin yaptığı işi verir.

$$E_{TOPLAM(son)} - E_{TOPLAM(ilk)} = W_s$$



Şekil 1.57 *Sürtünmeli yatay düzlemdeki cismin hareketi*

ÖRNEK 52

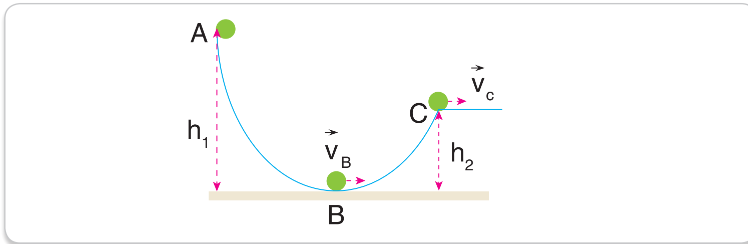


Şekildeki sürtünmesiz eğik düzlemin K noktasından serbest bırakılan cisim sürtünme katsayısı 0,5 olan yatay düzlemde kaç metre yol aldıktan sonra durur? ($g = 10$ N/kg; statik ve kinetik sürtünme katsayılarını eşit alınız.)

ÇÖZÜM

Cismin K noktasında sahip olduğu tüm mekanik enerji, sürtünmeli yatay düzlem üzerinde ısıya dönüşmüştür. Bu durumda K noktasındaki enerji E_{TOPLAM}, L noktasından sonra ısıya dönüşen enerji W_S olarak yazılırsa

$$E_{TOPLAM} = W_S$$
$$m \cdot g \cdot h = f_s \cdot x$$
$$\cancel{m} \cdot \cancel{g} \cdot h = k \cdot \cancel{m} \cdot \cancel{g} \cdot x$$
$$h = k \cdot x$$
$$6 = 0,5 \cdot x$$
$$x = 12 \text{ m bulunur.}$$



Şekil 1.58 *Sürtünmesiz bir ortamda A noktasından serbest bırakılan cismin mekanik enerjisi yörüngenin her noktasında birbirine eşittir.*

Sürtünmelerin ihmal edildiği bir ortamda Şekil 1.58'deki gibi A noktasından serbest bırakılan m kütleli cisim B noktasına gelirken potansiyel enerji kaybeder ve kinetik enerji kazanır. B ve C noktaları arasında ise kinetik enerjisi azalır, potansiyel enerjisi artar.

Cismin A, B ve C noktalarındaki enerji durumlarını inceleyelim.

Cisim A noktasında iken sadece potansiyel enerjisi vardır.

$E_{TOPLAM} = E_{PA}$

$E_{TOPLAM} = m \cdot g \cdot h_1$

Cisim B noktasında iken sadece kinetik enerjisi vardır. Cismin mekanik enerjisi korunduğuna göre

$E_{TOPLAM} = E_{Kb)}$

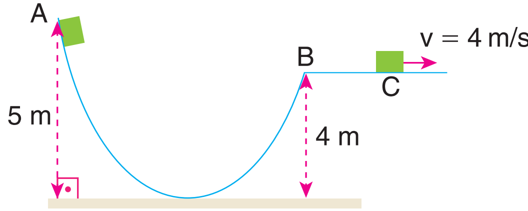
$m \cdot g \cdot h_1 = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_B^2$ olur.

Cismin C noktasında hem potansiyel enerjisi hem de kinetik enerjisi vardır. Bu durumda,

$E_{TOPLAM} = E_{P(c)} + E_{K(c)}$

$m \cdot g \cdot h_1 = m \cdot g \cdot h_2 + \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_C^2$ olur.

ÖRNEK 53



Düşey kesiti şekildeki gibi olan yolun A noktasından 2 kg kütleli cisim serbest bırakılıyor. Yolun yalnızca BC bölümü sürtünmelidir. Cisim C noktasından 4 m/s'lik hızla geçtiğine göre hareket boyunca ısıya dönüşen enerji kaç J olur? (g = 10 N/kg alınız.)

ÇÖZÜM

Cismin A noktasından serbest bırakıldığı anda sadece potansiyel enerjisi vardır. Cismin potansiyel enerjisi,

$E_{P(a)} = m \cdot g \cdot h$

$E_{P(a)} = 2 \cdot 10 \cdot 5 = 100$ J ise cismin mekanik enerjisi,

$E_{TOPLAM} = 100$ J olur.

Cismin C noktasından geçerken hem kinetik hem de potansiyel enerjisi vardır. Potansiyel enerjisi,

$E_{P(c)} = m \cdot g \cdot h$

$E_{P(c)} = 2 \cdot 10 \cdot 4 = 80$ J bulunur. C noktasındaki kinetik enerjisi ise

$E_{K(c)} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$

$E_{K(c)} = \frac{1}{2} \cdot 2 \cdot 4^2 = 16$ J bulunur. Bu durumda C noktasındaki toplam mekanik enerjisi,

$E_{TOPLAM} = E_{K(c)} + E_{P(c)}$

$E_{TOPLAM} = 16 + 80 = 96$ J olur.

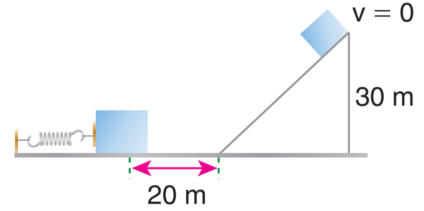
Cismin ilk mekanik enerjisi ile son mekanik enerjisi arasındaki fark sürtünmenin yaptığı işe eşittir. Buna göre sürtünme kuvvetinin yaptığı iş,

$W_S = E_{(son)} - E_{(ilk)}$

$W_S = 96 - 100 = -4$ J olarak bulunur.

ÖRNEK 54

Şekildeki sistemde yatay düzlem sürtünmeli, eğik düzlem sürtünmesizdir. Yay sabiti 200 N/m olan esnek yay 3 m sıkıştırılarak 2 kg kütleli cisim yayın önüne konuluyor. Yay serbest bırakıldığında cisim 20 m'lik yatay düzlemden geçerek eğik düzlemde 30 m yüksekliğe kadar çıkabiliyor. Buna göre yatay yüzeyle cisim arasındaki sürtünme katsayısı kaçtır? (g =10 N/kg; statik ve kinetik sürtünme katsayılarını eşit alınız.)



ÇÖZÜM

Yayın potansiyel enerjisi,

$E_{P(yay)} = \frac{1}{2} \cdot k \cdot x^2$

$E_{P(yay)} = \frac{1}{2} \cdot 200 \cdot 3^2 = 900$ J ise sistemdeki toplam mekanik enerji,

$E_{TOPLAM} = 900$ J olur.

Cisim son durumda 30 m yükseklikteyken potansiyel enerjisi,

$E_{P(cisim)} = m \cdot g \cdot h$

$E_{P\ (cisim)} = 2 \cdot 10 \cdot 30 = 600$ J olur. İlk mekanik enerji ile son mekanik enerji arasındaki fark sürtünmeden dolayı ısıya dönüşen enerjidir. Buna göre sürtünme kuvvetinin yaptığı iş,

$W_s = E_{(son)} - E_{(ilk)}$

$W_s = 600 - 900 = -300$ J bulunur.

$W_s = -f_s \cdot \Delta x$ olduğundan;

$-300 = -f_s \cdot 20$ ise $f_s = 15$ N bulunur.

$f_s = k \cdot N$ bağıntısından (N, yüzeyin tepki kuvvetidir ve cismin ağırlığı kadardır.)

$f_s = k \cdot m \cdot g$

$15 = k \cdot 2 \cdot 10$

$k = 0{,}75$ bulunur.



1. ÜNİTE: 6. BÖLÜM DEĞERLENDİRME SORULARI

A. Aşağıdaki cümlelerde boş bırakılan yerleri uygun kelimeleri kullanarak tamamlayınız.

eşdeğer | potansiyel | uygulanan kuvvet | esneklik | toplam | yayın cinsi | mekanik enerji

1. Esnek bir yayın uzama veya sıkışma miktarı .... ve .... bağlıdır.
2. Birden fazla yay kullanılarak oluşturulan bir sistemin yay sabitine .... yay sabiti denir.
3. Sürtünmelerin ihmal edildiği ortamlarda kinetik ve potansiyel enerjilerin toplamı .... eşittir.
4. Cisimlerin kendilerine özgü özellikleriyle depolayabildikleri enerji türlerine genel olarak .... enerji denir.
5. Bir cisme uygulanan kuvvet kaldırıldığında cismin eski şeklini alabilmesi özelliğine .... denir.

B. Aşağıdaki cümlelerin başına doğru ise "D", yanlış ise "Y" yazınız.

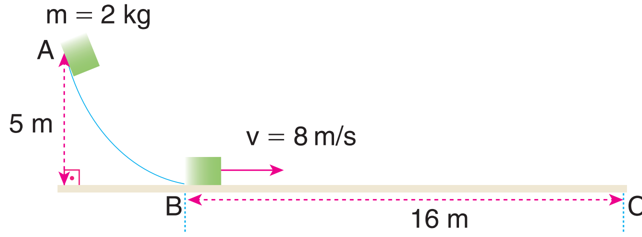
1. (   ) Serbest düşme hareketi yapan bir cismin zamanla kinetik enerjisi azalır.
2. (   ) Var olan enerji yok olmaz, bir türden diğerine dönüşür.
3. (   ) Bir yayın yay sabiti, yayın cinsine bağlıdır.
4. (   ) Sürtünmesiz sistemlerde mekanik enerji her zaman korunur.
5. (   ) Paralel bağlı yaylardan oluşan bir sistemde, yayların uzama miktarları eşit büyüklüktedir.
6. (   ) Gerilen bir yayda depolanan enerji, esneklik potansiyel enerjidir.

C. Aşağıdaki soruları cevaplayınız.

1. Enerji dönüşümüne çevrenizden örnekler veriniz.
2. Trambolinde zıplayan bir çocuğun hareketi sırasındaki enerji dönüşümünü açıklayınız.
3. Bir cisme hareketi yönünde bir kuvvet uygulandığında cismin kinetik enerjisi her zaman artar mı? Neden?
4. Bir yayın kuvvet-uzama miktarı grafiğinden yararlanarak hangi büyüklükleri bulabiliriz? Açıklayınız.

Ç. Aşağıdaki problemleri çözünüz.

1.

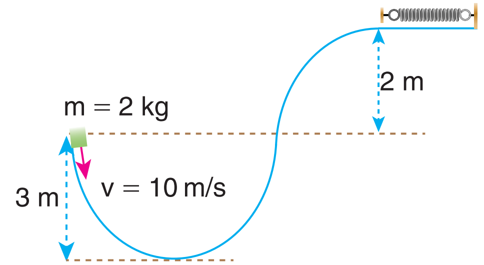


5 m yükseklikten serbest bırakılan 2 kg kütleli cisim B noktasından 8 m/s hızla geçtikten sonra C noktasında duruyor. Buna göre;

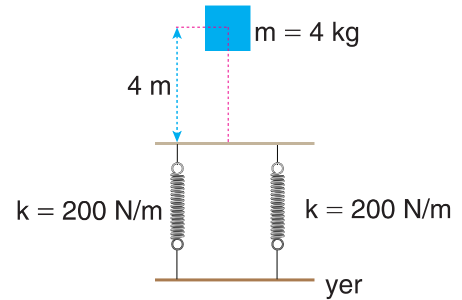
a) AB yolu boyunca sürtünmeye harcanan enerji kaç J'dür?

b) BC yolu boyunca cisme etki eden sürtünme kuvveti kaç N'dır? (g = 10 N/kg alınız.)

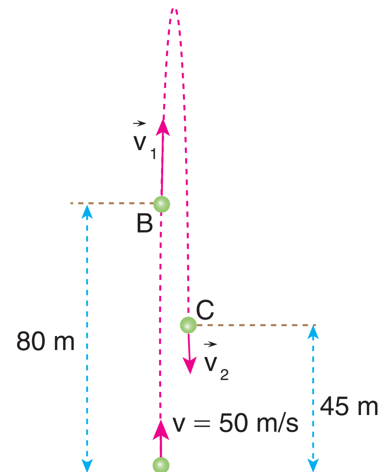
2. Şekildeki sistemde K noktasından 10 m/s hızla atılan 2 kg kütleli cisim, yay sabiti 400 N/m olan yayı maksimum 20 cm sıkıştırabiliyor. Buna göre yol boyunca sürtünmeye harcanan enerji kaç J'dür? (g = 10 N/kg alınız.)



3. 4 kg kütleli cisim 4 m yükseklikten serbest bırakılıyor. Yay sabiti 200 N/m olan iki yaydan oluşan sisteme cisim çarptığında, yayları maksimum kaç m sıkıştırır? (g = 10 N/kg alınız. Sürtünmeler ihmal ediliyor.)



4. Sürtünmesiz ortamda, yerden v = 50 m/s hızla düşey yukarı atılan cismin B noktasındaki hızı $\vec{v}_1$ ve C noktasındaki hızı $\vec{v}_2$ dir. Cismin B ve C noktalarındaki hız büyüklükleri oranı $\frac{v_1}{v_2}$ kaçtır? (g = 10 N/kg alınız.)



D. Aşağıdaki test sorularını çözünüz.

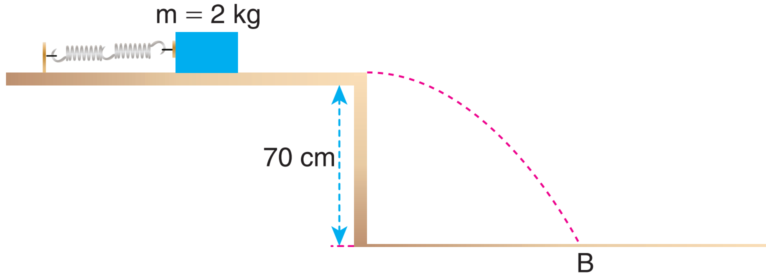
1.



Sürtünmesiz ortamda K noktasından 8 m/s hızla eğik atılan 5 kg kütleli cisim şekildeki yörüngeyi izleyerek L noktasına çarpıyor. Cismin L noktasına çarpma hızı kaç m/s'dir? (g = 10 N/kg alınız.)

A) 1 **B)** 2 **C)** 3 **D)** 4 **E)** 6

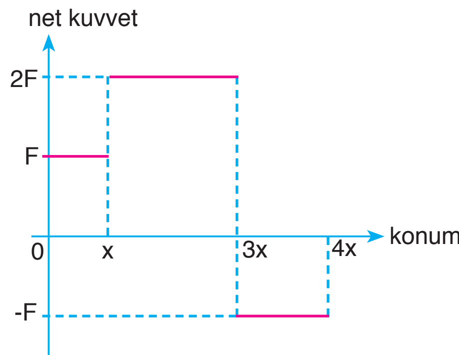
2.



Sürtünmesiz ortamda yay sabiti 200 N/m olan özdeş iki yaydan oluşan yay sistemi, kütlesi 2 kg olan bir cisimle 20 cm sıkıştırılmıştır. Cisim serbest bırakıldıktan sonra şekildeki yörüngeyi izleyerek B noktasına çarpıyor. Cismin B noktasına çarpma hızı kaç m/s olur?

A) 1 **B)** 2 **C)** 3 **D)** 4 **E)** 5

3. Yatay düzlemde durmakta olan bir cismin, yatay düzleme paralel uygulanan net kuvvete bağlı konum grafiği şekildeki gibidir. Cismin 4x konumundaki hızının büyüklüğü 2v olduğuna göre, 3x konumundaki hızının büyüklüğü kaç v olur?



A) 1 **B)** $\sqrt{2}$ **C)** 2 **D)** $\sqrt{5}$ **E)** 4

1.7. İTME VE ÇİZGİSEL MOMENTUM

Bu bölümde;

- İtme ve çizgisel momentum kavramlarını,
- İtme ve çizgisel momentum değişimi arasındaki ilişkiyi,
- Çizgisel momentumun korunumunu analiz etmeyi,
- Çizgisel momentumu ve enerjinin korunumunu kullanarak problemler çözmeyi öğreneceğiz.

Kavramlar

- İtme
- Çizgisel momentum
- Çizgisel momentumun korunumu
- Esnek ve esnek olmayan çarpışma

ÇARPIŞMALAR

Barış ve Kemal çok iyi iki arkadaştır. Ara sıra birlikte bilardo ve bovling oynamaya giderler. Görsel 1.90'daki gibi bilardo oynadıklarında birbirlerine topa nasıl vurmaları gerektiği hakkında fikir verirler. Topun deliğe girmesi için hangi topa hangi hızla ve neresinden vurmak gerektiğini tartışırlar. Duran topun aynı doğrultudaki deliğe girmesi için tam ortasından vurmaları gerektiğini, topun sağ taraftaki deliğe girmesi için ise hedefteki topun sol tarafından vurmaları gerektiğini konuşurlar. Bovling oynadıklarında ise topun lobutlara çarparak onları Görsel 1.91'deki gibi devirmesi için nasıl atış yapmaları gerektiğini birbirlerine anlatırlar.

Görsel 1.92'deki çocuklar ise Barış ve Kemal gibi tartışmasalar da oynadıkları bilyelerin çarpışma sonrası farklı hareketler yaptıklarını gözlemlerler. Eğer bilye oynamışsanız siz de bunu fark etmişsinizdir.



Görsel 1.90 *Bilardo toplarının deliğe girmesi için uygun hızda ve uygun noktalarından çarpışmaları gerekir. Önce topa bir kuvvet uygulanarak topun uygun hızı kazanması sağlanır.*

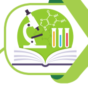


Görsel 1.91 *Bovling topu lobutlara çarptığı sırada onlara kuvvet uygulayarak devrilmelerine neden olur.*



Görsel 1.92 *Çocukların oynadıkları bilyeler birbiri ile çarpıştıklarında çarpışma anındaki hızlarına ve çarpışma noktalarına göre farklı yönlerde, farklı hızlarla hareket eder.*

Şimdi Barış'la Kemal'in bilardo ve bovling oynadıklarında karşılaştıkları bu durumları incelemek üzere bir etkinlik yapalım.



Etkinlik 1.4

Hangi Bilye Daha Erken Durur?

Amacı: Kütleleri ve hızları farklı cisimlerin durma süresini etkileyen faktörleri incelemek

Araç Gereçler

- Kütleleri farklı iki bilye (aynı boyutlarda olması tercih edilmeli)
- Eğik düzlem
- Kum havuzu ya da kum zemin



Kum havuzu ya da düzeltilmiş kum zemin



Kütleleri farklı bilyeler



Eğik düzlem olarak kullanılacak tahta

Etkinliğin Basamakları

- Eğik düzlemi kum zemine koyunuz.
- Önce kütlesi küçük bilyeyi eğik düzlemin üst ucundan bırakıp bilyenin kum zemin üzerinde aldığı yolu ölçünüz.
- Aynı işlemi kütlesi büyük bilye için tekrarlayınız. Bilyelerin aynı yükseklikten bırakılmasına dikkat ediniz.

Sonuca Varalım

- İş-enerji konusundan öğrendiğiniz biçimde bilyelerin eğik düzlem üzerinden ayrılma hızlarını karşılaştırınız. (Sürtünmeleri ihmal ediniz).
- Büyük bilye ile küçük bilyenin kum zemin üzerinde durana kadar aldıkları yolları karşılaştırınız.
- Her iki bilyenin eğik düzlemden ayrılma hızlarını ve kütlelerini ele alarak kum zemin üzerinde durana kadar aldıkları yollar hakkında tartışınız.



Görsel 1.93 *Trafikteki otobüsün diğer otomobillerle aynı sürede durabilmesi için otobüse daha büyük bir kuvvet uygulanması gerekir.*

Belli bir hıza sahip cismi durdurmak için bir süre kuvvet uygulanmalıdır. Etkinliğimizden anlaşılacağı gibi aynı hıza sahip farklı kütleli cisimleri durdurmak için büyük kütleli cisme daha büyük kuvvet uygulanmalıdır. Görsel 1.93'teki gibi aynı hıza sahip bir otomobilin ve bir otobüsün aynı sürede durması için otobüse daha büyük kuvvet uygulanması gerekir. Eğer otomobile ve otobüse aynı kuvvetler uygulanacak olursa kütlesi daha büyük olan otobüs daha uzun sürede durur.

Benzer biçimde Görsel 1.94'teki gibi kütleleri farklı araçlara aynı büyüklükte kuvvetler eşit süre uygulanacak olursa bu süre sonunda kütlesi en küçük olan aracın hızı en büyük olurken kütlesi en büyük olan aracın hızı en küçük olur.



Görsel 1.94 *Kütleleri birbirinden farklı araçları aynı sürede aynı hıza ulaştırmak için kütlesi büyük olan cisme daha büyük kuvvet uygulanmalıdır.*



Görsel 1.95 Kutuları taşımakta kullanılan arabaya bir süre boyunca sabit bir net kuvvet uygulanırsa arabanın hızında değişim olur.



Görsel 1.96 Yüksekteki daldan düşen portakal yere daha hızlı çarpar.

Tablo 1.8 İtme için birim tablosu

Kuvvet (F)	Zaman (t)	İtme (I)
N	s	N · s

1.7.1. İtme ve Çizgisel Momentum

İtme

Kuvvet uygulanan cisimlerin hızlarındaki değişim, uygulanan kuvvetin büyüklüğü ve bu kuvvetin uygulanma süresi ile ilgilidir. Uygulanan kuvvetin büyüklüğü ve kuvvetin uygulanma süresi arttıkça hızdaki değişim daha da büyük olacaktır.

Görsel 1.95'teki kargo firması çalışanı duran arabaya bir kuvvet uygulayarak hızında bir değişime sebep olur. Arabaya uygulanan net kuvvet sıfırdan farklı olmak üzere kuvvet uygulandığı sürece arabanın hızı artar. Görsel 1.96'daki portakal ağacındaki farklı yüksekliklerde bulunan portakallar dalından koptuğunda yüksekten düşen portakal yere daha hızlı çarpar. Bunun sebebi ağırlığın yüksekten düşen portakala daha uzun süre etki etmesidir.

Bir cisme etki eden net kuvvet ile kuvvetin etki süresinin çarpımından oluşan fiziksel büyüklüğe "**itme**" denir ve I ile gösterilir. Herhangi bir cisme etki eden net kuvvet F, bu kuvvetin uygulanma süresi Δt ise cismin üzerinde oluşan itme $\vec{I} = \vec{F} \cdot \Delta t$ olur. Bu ifadede kuvvet vektörel, zaman skaler büyüklükler olduğu için çarpımın sonucu olan itme de vektörel bir büyüklüktür. Zaman daima "+" değerler alacağından itme vektörü daima kuvvet ile aynı yönlü olur. Bu ifadede kullanılan büyüklüklerin SI birim sistemindeki birimleri Tablo 1.8'de verilmiştir.

ÖRNEK 55

Bir golf oyuncusu, topa ortalama 500 N büyüklüğündeki bir kuvvetle vuruyor. Golf sopasının topla temas süresi 10^{-2} s ise oluşan itmeyi bulunuz.

ÇÖZÜM

Topa net bir kuvvet uygulandığı için bir itme oluşmuştur. Oluşan itmenin büyüklüğü,

$I = F \cdot \Delta t$

$I = 500 \cdot 10^{-2}$

$I = 5$ N.s'dir.



Sıra Sizde 1.38

Okçulukla uğraşan bir sporcu yayı gerip bıraktığında oka etki eden ortalama kuvvet 200 N oluyor. Okta oluşan itme 4 N.s ise okun yaydan ayrılma süresini bulunuz.

Çizgisel Momentum

Çizgisel momentum fizikte kullanılan büyüklüklerden biri olup bir cismin kütlesi ile hızının çarpımı olarak tanımlanır. Çizgisel momentum P harfi ile gösterilir. Kütlesi m, hızı $\vec{v}$ olan bir cismin momentumu $\vec{P} = m \cdot \vec{v}$ olarak ifade edilir. Kütle skaler, hız vektörel büyüklük olduğu için çarpımları ile elde edilen momentum da vektörel bir büyüklüktür. Kütle daima “+" değerler alacağından hızın ve momentumun yönü daima aynıdır. Momentum birimi Tablo 1.9’da verilmiştir.

Tablo 1.9 *Momentumun SI birim sistemindeki birimi*

Kütle (m)	Hız (v)	Momentum (P)
kg	m/s	kg · m/s



Görsel 1.98 *Büyük bir kamyonun hızı küçük olsa bile kütlesinden dolayı çizgisel momentumu oldukça büyük olacaktır.*

Görsel 1.97’deki araçların hızlarının büyüklüğü aynı kabul edilirse kütlesi en büyük olan aracın momentumu da en büyük olur.

Görsel 1.98’deki kamyon ve Görsel 1.99’daki bisikletin hızları aynı büyüklükte olsa da herhangi bir nesneye çarptıklarında verdikleri zararlar farklı olur. Bu iki hareketlinin hızları aynı büyüklükte olsa bile çizgisel momentumlarının büyüklükleri farklıdır.



Görsel 1.97 *Bir kamyonun hızına sahip otomobilin çizgisel momentumu, kütlesinden dolayı kamyonun çizgisel momentumundan küçüktür.*



Görsel 1.99 *Toplam ağırlıkları eşit olan iki bisikletten hızı büyük olanın, çizgisel momentumu da büyük olur.*

1.7.2. İtme ve Çizgisel Momentum Değişimi Arasındaki İlişki



Görsel 1.100 *Yer çekiminin uyguladığı itme nedeniyle çocuğun çizgisel momentumu değişir.*

Bir cisme uygulanan itmeyi ele alarak tekrar inceleyelim. İtme $\vec{I} = \vec{F} \cdot \Delta t$ bağıntısı ile bulunmaktadır. Newton'un İkinci Kanunu olan $\vec{F} = m \cdot \vec{a}$ ve ivme $\vec{a} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$ ifadeleri itme formülünde yerine konulursa

$\vec{I} = m \cdot \vec{a} \cdot \Delta t = m \cdot \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} \cdot \Delta t$ ve $\vec{I} = m \cdot \Delta \vec{v}$ elde edilir.

$\Delta \vec{v} = \vec{v}_{son} - \vec{v}_{ilk}$ olduğundan,

$\vec{I} = m \cdot (\vec{v}_{son} - \vec{v}_{ilk}) = m \cdot \vec{v}_{son} - m \cdot \vec{v}_{ilk}$ elde edilir. Burada karşımıza $m \cdot \vec{v}$ şeklinde çıkan fiziksel büyüklük momentum olduğuna göre $m \cdot \vec{v}_{son} = \vec{P}_{son}$ ve $m \cdot \vec{v}_{ilk} = \vec{P}_{ilk}$ olarak yazılırsa $\Delta \vec{P} = \vec{P}_{son} - \vec{P}_{ilk}$ ve $\vec{I} = \Delta \vec{P}$ olur. Elde edilen son eşitlik yorumlandığında **"İtme, çizgisel momentumdaki değişime eşittir."** denir. Diğer bir ifade ile bir cisme itme uygulandığında cismin çizgisel momentumunda itme kadar bir değişim olur. Görsel 1.100'deki çocuğa hareketi boyunca yer çekimi kuvveti etki ederek çocuğun hızında, dolayısıyla çizgisel momentumunda değişime neden olur.



Sıra Sizde 1.39

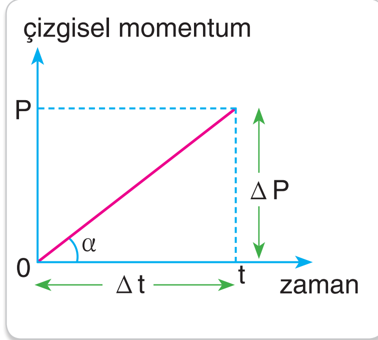
Siz de Görsel a'daki futbolcunun vurduğu topun ve Görsel b'deki gibi elle fırlatılan topun hızında meydana gelen değişmeleri itme-çizgisel momentum ilişkisini kullanarak açıklayınız.



a) *Ayakla vurulan top*



b) *Elle fırlatılan top*

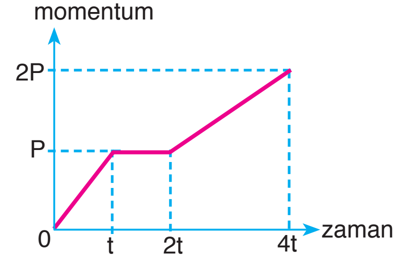


Grafik 1.23 *Çizgisel momentum-zaman grafiği*

F kuvveti etkisinde hareket eden bir cisme ait momentumun zamana göre değişimi Grafik 1.23'teki gibi çizilirse grafiğin eğimi $\tan\alpha = \frac{\Delta P}{\Delta t} = F$ olur ve çizgisel momentum-zaman grafiğinin eğimi cisme uygulanan kuvveti verir.

ÖRNEK 56

Yatay düzlemde hareket eden bir cisme ait momentumun zamana bağlı değişim grafiği şekildeki gibidir.



Buna göre;

I. (0-t) zaman aralığında cisme etki eden net kuvvet artmaktadır.

II. (t-2t) zaman aralığında cisme etki eden net kuvvet sıfırdır.

III. (2t-4t) zaman aralığında cisme etki eden net kuvvet sabit kalmaktadır.

ifadelerinden hangileri doğrudur? Açıklayınız.

ÇÖZÜM

Momentum-zaman grafiğinin eğimi, cisme etki eden kuvveti verir. Buna göre

(0-t) zaman aralığında grafiğin eğimi sabittir.

Eğim = $\frac{P}{t} = F_{net}$ olur. Net kuvvet sabittir. I. ifade yanlıştır.

(t–2t) zaman aralığında grafiğin eğimi sıfırdır. Bu durumda net kuvvet de sıfır olur. II. ifade doğrudur.

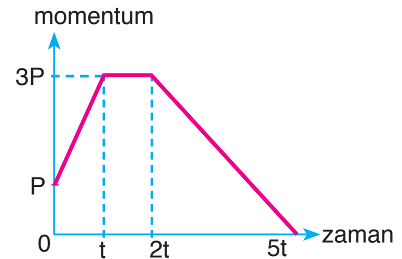
(2t-4t) zaman aralığında grafiğin eğimi,

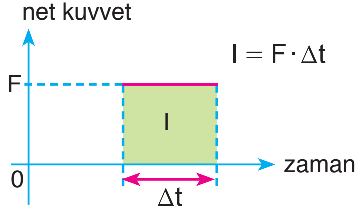
Eğim = $\frac{2P - P}{4t - 2t} = \frac{P}{2t} = F_{net}$ olur. Net kuvvet sabittir. III. ifade doğrudur.



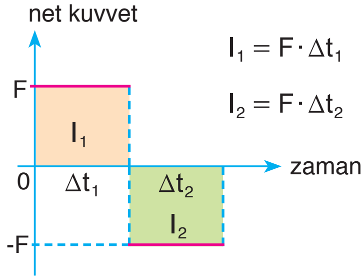
Sıra Sizde 1.40

Sürtünmesiz yatay düzlemde hareket eden cisme ait momentumun zamanla değişim grafiği şekildeki gibidir. Buna göre cisme etki eden net kuvvetin zamanla değişim grafiği nasıl olabilir? Çiziniz.





Grafik 1.24 *Net kuvvet-zaman grafiğinin altında kalan alan itmeyi verir.*



Grafik 1.25 *Cisme etkiyen kuvvetin doğrultusu aynı kalmak koşulu ile yönü ve şiddeti değişebilir.*

Kütlesi m olan cisme uygulanan net kuvvetin zamana göre değişim grafiğinin altında kalan alan, cisme uygulanan itmenin büyüklüğüne eşittir (Grafik 1.24).

İtme, cismin momentum değişimine eşit olduğundan grafiğin altında kalan alan cismin momentum değişimine de eşit olur.

Cisme etkiyen kuvvetin doğrultusu aynı kalırken yönü ve şiddeti değişebilir (Grafik 1.25).

Bu durumda zaman ekseninin üstünde kalan alan pozitif itmenin büyüklüğüne, zaman ekseninin altında kalan alan ise negatif itmenin büyüklüğüne eşit olur.

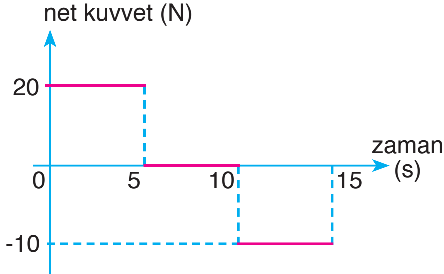
Toplam itme bu alanların cebirsel toplamına eşittir.

Buna göre;

$\sum I = I_1 - I_2$

$\sum I = F \cdot \Delta t_1 - F \cdot \Delta t_2$ olur.

ÖRNEK 57



Yatay düzlem üzerinde hareket eden 2 kg kütleli cisme etki eden net kuvvetin zamana bağlı değişim grafiği şekildeki gibidir. $t = 0$ anında cismin hızı 10 m/s olduğuna göre cismin 15. saniye sonundaki hızı kaç m/s olur?

ÇÖZÜM

Grafikten

$I_1 = 20 \cdot 5 = 100\, N \cdot s$

$I_2 = -10 \cdot 5 = -50\, N \cdot s$ bulunur.

Cisme etki eden toplam itme;

$\sum I = I_1 - I_2 = 100 - 50 = 50\, N \cdot s$ olur.

İtme, momentumdaki değişime eşit olduğundan,

$I = \Delta P = m \cdot \Delta v$

$I = m \cdot (v_2 - v_1)$

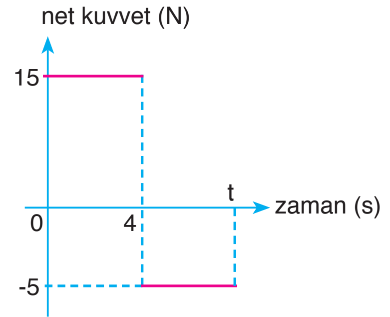
$50 = 2 \cdot (v_2 - 10)$

$v_2 = 35\, m/s$ olur.



Sıra Sizde 1.41

Yatay düzlem üzerinde hareket eden 4 kg kütleli cisme etki eden net kuvvetin zamana bağlı değişim grafiği şekildeki gibidir. t = 0 anında cismin hızı 20 m/s olduğuna göre, cismin kaçıncı saniyede (t) hızı 5 m/s olur?



ÖRNEK 58

Yerden 45 m yükseklikten serbest bırakılan top yere çarpıp 20 m yüksekliğe çıkıyor. Topun kütlesi 500 g ve yerle temas süresi 2.10^{-1} s olduğuna göre;

a) Top yere düşene kadar uygulanan itmeyi,

b) Yere çarpma hızını,

c) Çarpma sırasında uygulanan itmeyi,

ç) Yerin topa uyguladığı ortalama kuvveti bulunuz. (Hava direncini ihmal ediniz. $g = 10\ m/s^2$ alınız.)

ÇÖZÜM

Çözüme geçmeden önce bazı tanımlamalar yapılmalıdır. Topun ilk hızı $v_{ilk} = 0$, yere çarpma hızı v_1, yerden ayrılma hızı v_2 olsun.

a) Yere düşme süresi,

$$h = \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2$$

$$45 = \frac{1}{2} \cdot 10 \cdot t^2$$

$t = 3$ s bulunur.

Yere düşene kadar uygulanan itmenin büyüklüğü $I = F \cdot \Delta t$ ve düşme sırasında topa uygulanan kuvvet cismin ağırlığıdır. $F = m \cdot g = 0,5 \cdot 10 = 5\,N$ olur. Buna göre itmenin büyüklüğü,

$$I = F \cdot \Delta t$$

$I = 5 \cdot 3 = 15\,N.s$ bulunur.

b) Topun bırakıldığı andan, yere çarpana kadar yaptığı harekette itme, çizgisel momentumdaki değişime eşit olduğundan

$$\vec{I} = \Delta \vec{P} = m \cdot \vec{v}_1 - m \cdot \vec{v}_{ilk}$$

$$15 = 0,5 \cdot v_1 - 0,5 \cdot 0$$

$v_1 = 30$ m/s bulunur.

c) Top yere çarptıktan sonra 20 m yükseldiğine göre yerden ayrılma hızı,

$v_2^2 = 2 \cdot g \cdot h = 2 \cdot 10 \cdot 20$ ve $\vec{v}_2 = 20$ m/s olur.

Topun yere çarpma anındaki çizgisel momentumu,

$\vec{P}_1 = m \cdot \vec{v}_1 = 0,5 \cdot 30 = 15$ kg · m/s ve yönü aşağı doğru, yerden $P_2 = m \cdot v_2 = 0,5 \cdot 20 = 10$ kg · m/s ayrılma anındaki çizgisel momentumu ve yönü yukarı doğrudur.

$P_2 = 10$ kg.m/s



$P_1 = 15$ kg.m/s

Aşağı yön "–", yukarı yön "+" seçilerek çarpma sırasında yerin topa uyguladığı itme $\vec{I} = \vec{P}_2 - \vec{P}_1 = 10 - (-15) = 25$ kg · m/s bulunur.

ç) Çarpma sırasında topa uygulanan itmenin büyüklüğü $I = F \cdot \Delta t$ olacağından,

$25 = F \cdot 2 \cdot 10^{-1}$ ise $F = 125$ N bulunur.

ÖRNEK 59



Bir beyzbol oyuncusu, yere paralel olarak 18 m/s hızla gelen 100 g kütleli topa vurup topun yatayla 60° açı yaparak 30 m/s hızla gitmesini sağlıyor. Topun beyzbol sopası ile temas süresi 0,01 s ise

a) Oyuncunun topa uyguladığı itmeyi,

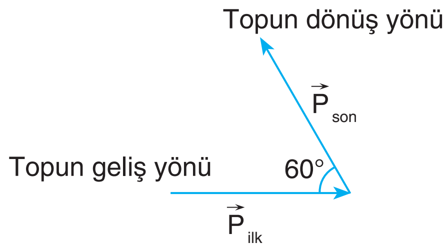
b) Topa uygulanan ortalama kuvvetin büyüklüğünü bulunuz. ($g = 10$ m/s^2 alınız. cos60° = 0,5).

ÇÖZÜM

a) Kütlesi, ilk ve son hızı belli olan topun sahip olduğu ilk ve son çizgisel momentumların büyüklükleri bulunabilir.

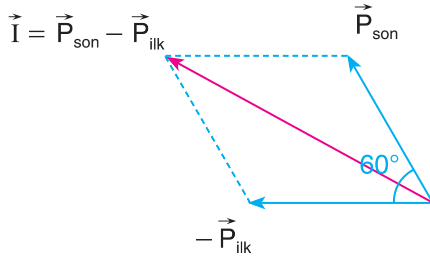
$P_{ilk} = m \cdot v_{ilk} = 0{,}1.18 = 1{,}8$ kg.m/s ve

$P_{son} = 0{,}1.30 = 3$ kg.m/s bulunur. Şimdi bu çizgisel momentumları vektörel olarak çizelim.



Hız ve momentum aynı yönlü vektörlerdir. İtme, momentumdaki değişime eşit olacağı için,

$\vec{I} = \Delta\vec{P} = \vec{P}_{son} - \vec{P}_{ilk}$ olur.



Kosinüs Teoremi kullanılarak

$(\Delta P)^2 = P_{son}^{\ 2} + P_{ilk}^{\ 2} + 2 \cdot P_{son} \cdot P_{ilk} \cdot \cos 60°$

$(\Delta P)^2 = 3^2 + 1{,}8^2 + 2 \cdot 3 \cdot 1{,}8 \cdot 0{,}5$

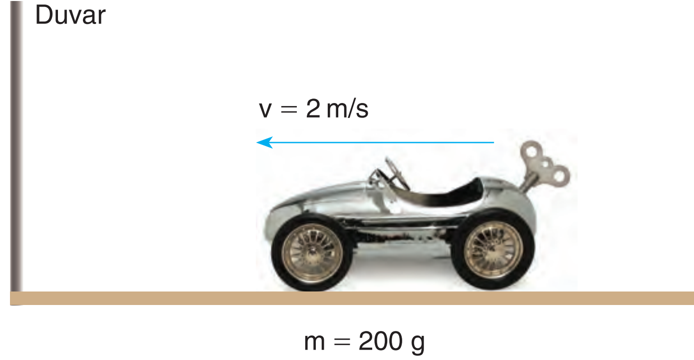
$\Delta P = 4{,}2$ kg m/s bulunur. Bu durumda,

$\Delta P = I = 4{,}2$ kg m/s olur.

b) Topa uygulanan itmenin büyüklüğü, $\vec{I} = \vec{F} \cdot t$ ifadesinde yerine konulursa 4,2 = F . 0,01 ve F = 420 N olur. Bu kuvvet çarpışma süresince uygulanan kuvvetin ortalama değeridir.



Sıra Sizde 1.42



Kütlesi 200 g olan kurmalı oyuncak araba, kurulduktan sonra bırakılıyor. Araba duvara 2 m/s hızla çarpıp 1 m/s hızla geri dönüyor. Arabanın duvarla temas süresi 0,8 s olduğuna göre;

a) Duvarın arabaya uyguladığı itmeyi,

b) Duvarın arabaya uyguladığı ortalama kuvveti bulunuz.

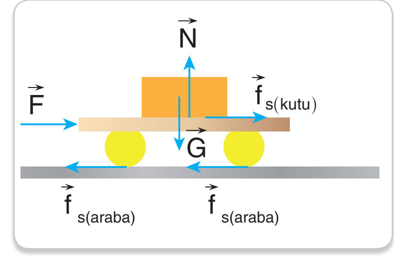
1.7.3. Çizgisel Momentumun Korunumu



Görsel 1.101 *Otobüsün içinde bulunan adamın otobüse uyguladığı kuvvetler iç kuvvetler olacağı için hız ve çizgisel momentumda değişime sebep olmaz.*

Fizikteki korunumlu büyüklüklerden birisi de çizgisel momentumdur. 10. sınıfta öğrendiğiniz korunumlu büyüklüklerden birisi yüklerin korunumuydu. Nasıl ki bir sistemde yük alışverişi olurken yüklerin toplamı korunuyor ise aynı sistem içinde bulunan cisimlerin çizgisel momentumları da korunur. İtme ve çizgisel momentum arasındaki ilişkiye göre bir cismin çizgisel momentumunun değişmesi için kuvvet uygulanması gerekir. Bir veya birden fazla cismin bulunduğu sisteme dışarıdan bir kuvvet uygulanmadığı sürece çizgisel momentum değişmez. Sistem içinde bulunan kuvvetler iç kuvvetler, sistem dışından uygulanan kuvvetler ise dış kuvvetler olarak adlandırılır. Görsel 1.101'deki yolcu tutunduğu demiri çekerek bir kuvvet uygulamaktadır. Ağırlığı nedeniyle de otobüsün zeminine bir kuvvet uygular. Ancak otobüs bir sistem olarak ele alındığında uygulanan bu kuvvetler iç kuvvet olur. Otobüsün hızında ve çizgisel momentumunda değişime sebep olmaz. Bu tıpkı otobüste oturan birinin önündeki koltuğu iterek hareket ettirmeye çalışması gibidir. Otobüsün hızında değişiklik yapmak için otobüse dışarıdan bir kuvvet uygulamak gerekir.

Şekil 1.59'daki deney arabasının üzerindeki kutunun arabanın zeminine uyguladığı ağırlık $(\vec{G})$, zeminin kutuya uyguladığı kuvvet (N), kutuyla zemin arasındaki sürtünme kuvveti $(\vec{f}_{s(kutu)})$ birer iç kuvvettir. Deney arabasına uygulanan $\vec{F}$ kuvveti ve arabayla yol arasındaki sürtünme kuvveti $(\vec{f}_{s(araba)})$ ise birer dış kuvvettir. Arabanın hızında değişime sebep olabilecek kuvvetler dış kuvvetlerdir. Arabanın üzerindeki dış kuvvetlerin toplamı sıfır ise çizgisel momentumda bir değişiklik olmaz, sıfırdan farklı ise çizgisel momentum değişir.



Şekil 1.59 *Bir deney arabası üzerinde iç ve dış kuvvetlerin gösterimi*

Çizgisel momentumun korunumu, dış ortamdan yalıtılmış bir sistem içindeki parçacıkların birbirlerine çarptıklarında sistemin çizgisel momentumunun yine sabit kalması olarak tanımlanır. Bu sistem iki cisimden oluşabildiği gibi daha fazla cisimden de oluşabilir. Sistemin içinde ele alınan cisimlerin birbirine uyguladıkları kuvvetler (çarpışma sırasında uygulanan kuvvetler dâhil) iç kuvvetler, sistemin dışından sistem içindeki cisim veya cisimlere uygulanan kuvvetler de dış kuvvetler olur.



Sıra Sizde 1.43



Karavan çeken bir kamyonetin bulunduğu sistemdeki iç ve dış kuvvetleri analiz ediniz.

Görsel 1.102'deki gibi bir buz pisti üzerinde durmakta olan baba ve çocuğu, birbirlerini ittiklerinde, babanın ve çocuğun birbirlerine uyguladığı kuvvetler etki tepki kuvvetleri olup eşit büyüklüktedir. Hem babaya hem de çocuğa uygulanan itmeler eşit büyüklükte fakat zıt yönlü olur. Aynı büyüklükteki itmelerin etkisinde kalan babanın kütlesi büyük olduğu için hızı küçük, çocuğun kütlesi küçük olduğu için hızı büyük olacaktır. Şimdi oluşan bu hızlar arasındaki ilişkiyi ve çizgisel momentumun korunumunu inceleyebileceğiniz bir deney yapalım.



Görsel 1.102 *Kütleleri farklı iki kişi birbirine itme uyguladığında farklı hızlara sahip olurlar.*

Deney 1.2

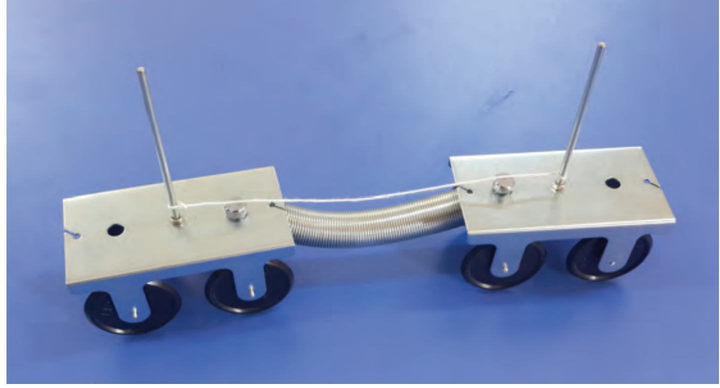
Araç Gereçler

- 2 adet deney arabası
- Sıkıştırılabilir yay
- İp
- Makas
- Cetvel
- Ağırlık takımı
- Koli bantı

Çizgisel Momentumun Korunumu

Deneyin Amacı: Esnek yaylarda yayın uzama miktarının yaya uygulanan kuvvete ve yay cinsine göre değişiminin incelenmesi

Deneyin Yapılışı



- Eşit kütleli deney arabalarının arasına yayı koyarak sıkıştırınız. Yay sıkıştıktan sonra ip yardımı ile arabaları birbirine şekildeki gibi bağlayınız. Arabalar yatay bir düzlemde iken ilk konumlarını işaretleyiniz.
- Arabaların arasındaki ipi makas yardımı ile kesiniz. Arabalar durduklarında ilk konumlarına olan uzaklıklarını ölçüp bir kâğıda not alınız.
- Arabalardan birinin üzerine kendi kütlesinin 4 katı olan bir kütle koyunuz. Bu kütleyi, arabanın üzerinden düşmemesi için koli bantı ile sabitleyiniz.
- İlk iki adımdaki işlemleri tekrarlayarak yine ilk konumlarına olan uzaklıklarını not alınız.

Sonuca Varalım

1. Eşit kütlede iken deney arabalarının aldıkları yolları karşılaştırdığınızda hızları için ne diyebilirsiniz? Deney arabalarının kütleleri eşitken sistemin ilk ve son çizgisel momentumlarını karşılaştırınız.

2. Deney arabalarının kütleleri m ve 5m iken aldıkları yolları karşılaştırdığınızda hızları için ne diyebilirsiniz? Sistemin ilk ve son çizgisel momentumlarını karşılaştırarak bir sonuca varabilir misiniz?

Şimdi baba ile çocuğun buz üzerinde birbirini ittiği durumu tekrar düşününüz. Aynı itmeye ve farklı kütlelere sahip olan baba ve çocuktan baba daha az yol alırken çocuk daha fazla yol almaktadır.

Aynı şekilde yaptığınız Deney 1.2'de deney arabalarının aldığı yollar kütleleri ile ters orantılıdır. Kütleler eşitken alınan yolların eşit olması arabaların eşit büyüklükte hızlara sahip olduğunu gösterir. Kütleleri m ve 5 m iken, m kütleli arabanın 5 m kütleli arabanın 5 katı yol alması, hızının da öbür arabanın 5 katı olması demektir.

Deneydekine benzer bir sistemde bulunan m_1 ve m_2 kütlelerine uygulanan itmeler $\vec{I}_1$, $\vec{I}_2$; itmeden sonra ilk anda sahip olduğu hızlar $\vec{v}_1, \vec{v}_2$ olmak üzere,

$\vec{I}_1 = -\vec{I}_2$ dir. İlk çizgisel momentumları sıfır olacağı için $\vec{P}_1 = -\vec{P}_2$ ve $m_1 \cdot \vec{v}_1 = -m_2 \cdot \vec{v}_2$ olur.

Harekete başlamadan önceki çizgisel momentumların toplamı sıfır ve hareket sonrasında çizgisel momentumların toplamı da sıfır olacağı için çizgisel momentum korunur, denir.

Çizgisel momentumun korunumu günlük hayattaki birçok problemin çözümünde kolaylık sağlar. Çarpışma ve patlama durumlarında çizgisel momentumun korunumunu nasıl kullanabileceğimizi inceleyelim.

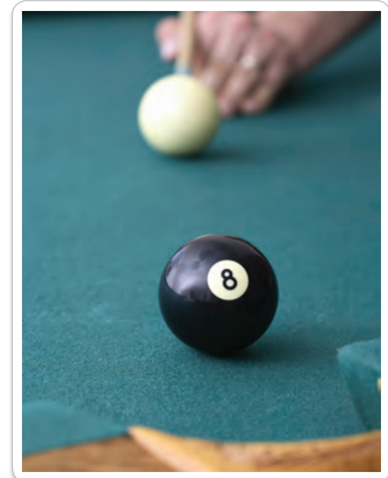
a. Çarpışmalar

Çarpışan iki cisim, çarpışma sonrası aynı doğrultuda hareket edebileceği gibi farklı doğrultularda da hareket edebilir. Görsel 1.103'teki toplar ve delik aynı doğrultuda olduğundan, kırmızı topun deliğe girmesi için beyaz topun merkezden çarpması gerekir. Çarpışma öncesi ve sonrası aynı doğrultuda hareket eden topların çarpışması "**bir boyutta çarpışma**" veya "**merkezi çarpışma**" olarak adlandırılır.



Görsel 1.103 *Toplar ve hedef delik aynı doğrultuda olduğu için merkezi çarpışma yapması gerekir.*

Görsel 1.104'te ise siyah topun deliğe girmesi için kenarından vurulması gerekir. Bu durumda her iki top farklı doğrultularda hareket eder. Çarpışma öncesi ve sonrası farklı doğrultularda hareket eden topların çarpışması ise "**iki boyutta çarpışma**" veya "**merkezi olmayan çarpışma**" olarak adlandırılır.

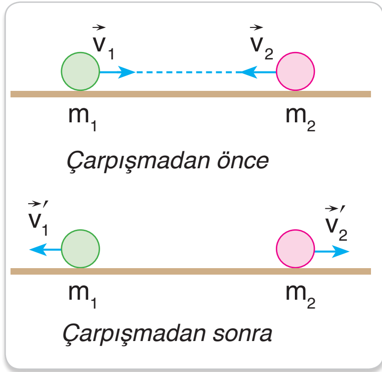


Görsel 1.104 *Toplar ve hedefteki delik farklı doğrultularda olduğu için merkezi olmayan çarpışma yaptırmak gerekir.*

a.1. Bir Boyutta Esnek Çarpışmalar

Bir boyutta gerçekleşen ve çarpışma öncesi toplam kinetik enerjinin çarpışma sonrası toplam kinetik enerjiye eşit olduğu çarpışmalara **"bir boyutta esnek çarpışma"** veya **"merkezi**

esnek çarpışma" denir. Çarpışma sonrası cisimler birbiriyle kenetlenmeden ayrı olarak hareket eder. Gerçek anlamda esnek çarpışmalar atom altı parçacıklarda görülebilir. Makro boyuttaki cisimler tam esnek çarpışma yapamaz. Sistemde dönüşen kinetik enerjinin ihmal edilebileceği durumlardaki çarpışmalar esnek olarak kabul edilebilir.



Şekil 1.60 *Merkezi esnek çarpışma yapan iki topun çarpışmadan önceki ve sonraki hızlarının gösterimi*

Şekil 1.60'taki çarpışma sırasında toplar birbirine eşit büyüklükte fakat zıt yönlerde itme uygulayacağından her iki topun çizgisel momentum değişimleri de eşit büyüklükte fakat zıt yönlü olur. İki topu aynı sistem içinde ele alırsak birbirlerine uyguladıkları kuvvetler iç kuvvet olur ve sistemin çizgisel momentumu değişmez. Çarpışmadan önceki toplam çizgisel momentum, çarpışmadan sonraki toplam çizgisel momentuma ve çarpışmadan önceki toplam enerji, çarpışmadan sonraki toplam enerjiye eşittir.

Çizgisel momentumun korunumu,

$$\Sigma \vec{P}_{ilk} = \Sigma \vec{P}_{son}$$

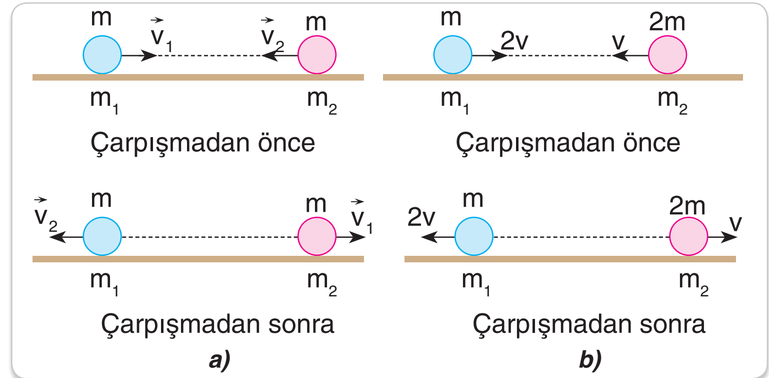
$$m_1 \cdot \vec{v}_1 + m_2 \cdot \vec{v}_2 = m_1 \cdot \vec{v}_1' + m_2 \cdot \vec{v}_2'$$

Enerjinin korunumu,

$$\Sigma E_{k(ilk)} = \Sigma E_{k(son)}$$

$$\frac{1}{2} \cdot m_1 \cdot v_1^2 + \frac{1}{2} \cdot m_2 \cdot v_2^2 = \frac{1}{2} \cdot m_1 \cdot v_1'^2 + \frac{1}{2} \cdot m_2 \cdot v_2'^2$$

olarak yazılabilir. Her iki eşitlik kullanılarak **"hızların korunumu"** olarak bilinen $\vec{v}_1 + \vec{v}_1' = \vec{v}_2 + \vec{v}_2'$ eşitliği elde edilir.

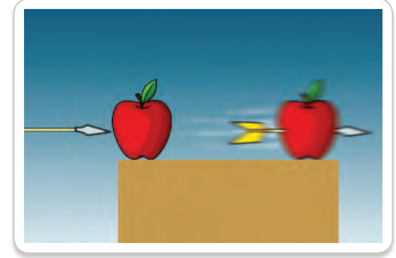


Şekil 1.61 *Merkezi esnek çarpışmalarda **a)** eşit kütleli cisimlerin **b)** eşit büyüklükte çizgisel momentumlara sahip cisimlerin çarpışmadan önceki ve sonraki hızları*

Merkezi esnek çarpışmalarda eşit kütleli cisimler, çarpıştıktan sonra, birbirinin çarpışmadan önceki hızını alırlar (Şekil 1.61.a). Cisimlerin çizgisel momentumları eşit büyüklükte ise cisimler çarpıştıktan sonra kendi hızlarıyla geri dönerler (Şekil 1.61.b).

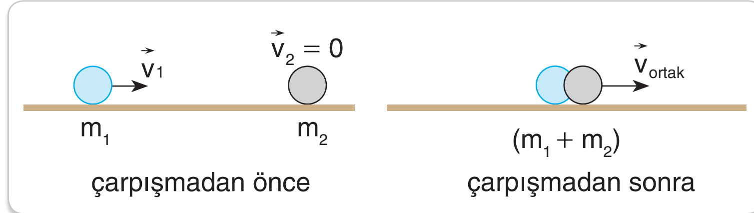
a.2. Bir Boyutta Esnek Olmayan Çarpışmalar

Bir boyutta gerçekleşen ancak kinetik enerjinin korunmadığı çarpışmalara “**bir boyutta esnek olmayan çarpışma**” veya “**merkezi esnek olmayan çarpışma**” denir. Çarpışma sonrası cisimler kenetlenerek birlikte hareket edebileceği gibi kenetlenmeden ayrı olarak da hareket edebilir. Çarpışma sırasında kinetik enerjinin bir kısmı ısı enerjisi, ses enerjisi gibi diğer enerji türlerine dönüşür. Çarpışmanın esnek olup olmadığına karar verebilmek için çarpışma öncesi toplam kinetik enerji ile çarpışma sonrası toplam kinetik enerji karşılaştırılmalıdır.



Görsel 1.105 *Duran elmaya saplanan ok ile elma birlikte hareket eder.*

Görsel 1.105’teki gibi durmakta olan elmaya isabet eden ok elmaya saplanarak birlikte hareket etmelerini sağlar. Elma ve ok bir sistem olarak ele alındığında birbirine uyguladıkları kuvvetler iç kuvvetlerdir. İç kuvvetler çizgisel momentumu değiştirmeyeceği için okun saplanmadan önceki çizgisel momentumu, saplandıktan sonraki toplam çizgisel momentumuna eşit olacaktır. Cisimler kenetlenerek hareket ettikleri için kenetlenme sonrası hızları ortaktır (Şekil 1.62).



Şekil 1.62 *Hareketli bir cisimle duran cismin merkezi esnek olmayan çarpışma yapması sonucu kenetlenerek birlikte hareket etmesi*

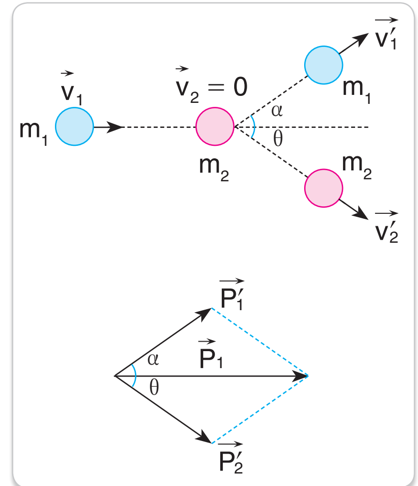
Bu iki cismin çarpışmadan önceki ve sonraki çizgisel momentumlarının eşitliği yazılarak

$$\Sigma\vec{P}_{ilk} = \Sigma\vec{P}_{son}$$

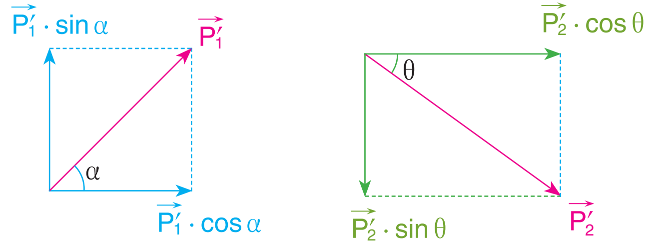
$m_1 \cdot \vec{v}_1 + m_2 \cdot 0 = (m_1 + m_2) \cdot \vec{v}_{ortak}$ elde edilir.

a.3. İki Boyutta Esnek Çarpışmalar

İki boyutta gerçekleşen aynı zamanda kinetik enerjinin korunduğu çarpışmalara “**iki boyutta esnek çarpışma**” veya “**merkezi olmayan esnek çarpışma**” denir. Çarpışma sonrası cisimler birbiriyle kenetlenmeden ayrı olarak hareket eder. (Şekil 1.63)



Şekil 1.63 *Merkezi olmayan esnek çarpışmada, çarpışma sonrası cisimler farklı doğrultularda hareket eder.*



***Şekil 1.64** İki boyutta esnek çarpışmalarda cisimlerin çarpışma sonrası sahip oldukları momentumların toplamının bileşenlere ayrılarak gösterilmesi*

Çarpışma öncesi yalnızca x doğrultusunda momentum olduğundan çarpışma sonrası da yalnızca x doğrultusunda momentum vardır. Çarpışma sonrası cisimlerin sahip oldukları momentumlar Şekil 1.64'teki gibi çizilerek bileşenlerine ayrıldığında;

1. Momentumun korunumundan

a) $\Sigma P_{ilk} = \Sigma P_{son}$

$m_1 \cdot \vec{v}_1 + m_2 \cdot \vec{v}_2 = m_1 \cdot \vec{v}_1' + m_2 \cdot \vec{v}_2'$ olur.

b) Çarpışma öncesi y doğrultusunda momentum sıfır olduğu için çarpışma sonrası da sıfır olması gerekir. Buna göre;

$P_1' \cdot \sin\alpha = P_2' \cdot \sin\theta$ olur.

c) Çarpışma sonrası momentumların x bileşenlerinin toplamı ilk momentuma eşit olacağından,

$P_1 = P_1' \cdot \cos\alpha + P_2' \cdot \cos\theta$ olur.

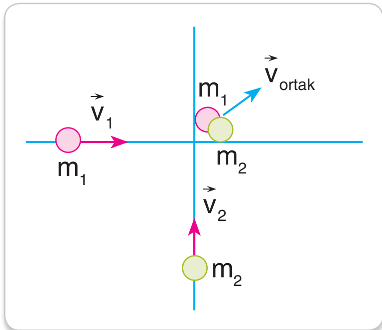
2. Kinetik enerjinin korunumundan

$\Sigma E_{k(ilk)} = \Sigma E_{k(son)}$

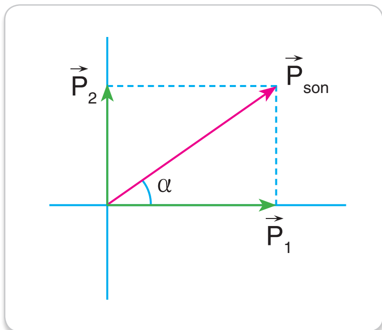
$\frac{1}{2} \cdot m_1 \cdot v_1^2 + \frac{1}{2} \cdot m_2 \cdot v_2^2 = \frac{1}{2} \cdot m_1 \cdot v_1'^2 + \frac{1}{2} \cdot m_2 \cdot v_2'^2$ elde edilir.

Eğer kütleleri aynı olan iki cisim merkezi olmayan esnek çarpışma yaparsa saçılma açılarının toplamı 90° olur.

Yani $\alpha + \theta = 90°$dir.



***Şekil 1.65** Dik doğrultularda hareket eden iki cismin esnek olmayan çarpışma yapması*



***Şekil 1.66** Dik doğrultularda hareket eden iki cismin momentumlarının koordinat düzleminde incelenmesi*

a.4. İki Boyutta Esnek Olmayan Çarpışmalar

Görsel 1.106'da farklı doğrultularda hareket eden iki aracın çarpışması sonucu birlikte hareket ettikleri görülmektedir.

Çarpışma öncesi ve çarpışma sonrası hareketin farklı doğrultularda gerçekleştiği, çarpışma sırasında kinetik enerjinin ses, ısı enerjisi gibi diğer enerji türlerine dönüştüğü çarpışmalara "**iki boyutta esnek olmayan çarpışma**" veya "**merkezi olmayan, esnek olmayan çarpışma**" denir.



Görsel 1.106 *Farklı doğrultularda hareket eden iki araç çarpışma sonrası birlikte aynı doğrultuda hareket etmiş ve merkezi olmayan esnek olmayan çarpışma yapmıştır.*

Şekil 1.65'teki gibi birbirlerine dik doğrultularda hareket eden ve O noktasında çarpışan m_1 ve m_2 kütleli iki cisim kenetlenerek $\vec{v}_{ortak}$ hızı ile hareket ediyor olsun. İki cisimden oluşan bu sistemde ilk ve son çizgisel momentumlar birbirine eşit olacağından,

$\Sigma\vec{P}_{ilk} = \Sigma\vec{P}_{son}$ ve $\vec{P}_1 + \vec{P}_2 = \vec{P}_{son}$ olur. Bu eşitlik Şekil 1.66'daki koordinat sistemi üzerinde kolayca görülebilir. Birbirine dik doğrultularda gelen ve esnek olmayan çarpışma yapan bu iki cismin son çizgisel momentumu Pisagor Teoremi kullanılarak bulunabilir.

b. Roketler

Görsel 1.107'deki araba, yolu; Görsel 1.108'deki tekne ise suyu geri iterek kendilerinin ileri doğru hareket etmesini sağlar. Görsel 1.109'daki gibi bir roket de yukarıdaki olaylara benzer biçimde bir çalışma prensibine sahiptir. Roketten geri yönde atılan gazlar bir itme oluşturarak roketin ileri yönde hareketini sağlar. Roket ve kullanılan gaz bir sistem olarak ele alınırsa dışarıdan bir kuvvet uygulanmadığı sürece çizgisel momentumu korunur. Çizgisel momentumun korunumuna göre gazın atılmaya başlamadan önceki toplam çizgisel momentum, gaz atılmaya başladıktan sonraki gaz ve roketin çizgisel momentumlarının toplamına eşit olmalıdır.



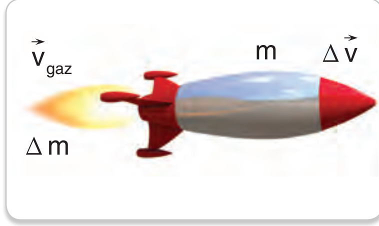
Görsel 1.107 *Arabanın ilerlemesi için yolu geri itmesi gerekir.*



Görsel 1.108 *Teknenin motoru, suyu geri iterek teknenin ileri doğru hareketini sağlar.*



Görsel 1.109 *Roketteki yakıt yanarak gaza dönüşür ve bu gaz geriye doğru itilirken roket gazın tersi yönde hızlanır.*



Şekil 1.67: Çizgisel momentumun korunumunun kullanılarak roketin hareketinin incelenmesi.

Şekil 1.67 üzerinde bu durum incelenebilir.

Roketteki gaz atılmadan hareket başlamaz ve çizgisel momentum sıfır olur. $m \cdot \Delta\vec{v} + \Delta m \cdot \vec{v}_{gaz} = 0$ olur. Buna göre;

$\Delta\vec{v} = -\frac{\Delta m}{m} \cdot \vec{v}_{gaz}$ olur.

Burada;

$\Delta\vec{v}$: Roketin hızındaki değişim,

m : Roketin kütlesi,

Δm : Gazın kütlesi,

$\vec{v}_{gaz}$: Gazın atılma hızıdır.

Eşitliğe göre roketin hızındaki değişimi artırmak için atılan gazın kütlesinin büyük, roketin kütlesinin küçük ve gazın atılma hızının büyük olması gerekir.



Okuma Parçası

ROKETLERİN TARİHÇESİ

Roketler genellikle ucu hava sürtünmesini azaltacak şekilde yapılmış, yakıt, motor ve egzozdan oluşan silindir şeklinde kaplardır. Roketler çalışmaları sırasında havaya gereksinim duymayan, hareket yönünün ters yönünde sıcak gaz püskürterek hareket eden araçlardır. Roket motorları ile jet motorları arasında büyük farklar vardır. Jet motorları yanıcı maddeyi beraberinde taşırken yakıcı madde olan oksijen gazını atmosferden tedarik etmektedir. Hâlbuki roketler (özellikle uzay çalışması amaçlı olanlar) hem yanıcı hem de yakıcı maddeyi beraberinde taşır. Bu nedenle bir jet motorunun uzayda çalışması mümkün değildir. Bir roket uzay çalışması amaçlı kullanılıyorsa taşıyıcı veya fırlatıcı adını alır. Askeri amaçla kullanılıyorsa yani taşıdığı yük tahrip amaçlı ise füze adını alır.

Uzaya, bir zıpkın gibi fırlayıp giden insanlı ve insansız araçlar gönderme hayali ve uygulaması ilk uçakların yapılışından da eskiye dayanmaktadır. Roketlerde kullanılan ilk katı yakıt baruttur. Barutun ilk kullanımına ilişkin kayıtlar, MÖ 3. yüzyılın sonlarında, Çin'i işaret ediyor. Bugün, Çinliler'in ilk roketleri 1045 yılından önce keşfettikleri kesin olarak biliniyor. İlk güçlü roketler, yine Moğol istilacılara karşı MS 1232 yılında, Kaifung-fu (Kayfang fu) Savaşı'nda kullanılmıştı. Bir Alman olan Wernher von Braun (Vörner fon Braun), roketlerle

uğraşmaya 17 yaşında başlamış, kısa sürede yükselip Alman askeri roket geliştirme programının başına geçmiş ve ilk uzun menzilli balistik roketler olan V1'i ve V2'yi geliştirmiştir. 'Uçan Bomba' adı verilen V1, esasen pilotsuz bir jet uçağıdır ve günümüzdeki 'cruise' (kuruyz) füzelerinin atası olarak değerlendirilebilir. 1945 yılının Nisan ayında, Hitler, roket bilgisinin Amerikalıların eline geçmesini önlemek üzere Braun (Braun) ve ekibinin ortadan kaldırılmasını emreder. Ancak Braun ve 100 meslektaşı Amerika'ya kaçmayı başarınca roket teknolojisinde liderlik Amerika'nın eline geçer. Bu liderlik fazla uzun sürmez. Çünkü Sovyet bilim insanı Korolev, 1961'den itibaren pek çok Sovyet kozmonotunu yörüngeye taşıyan Vostok, Voskhod ve Soyuz uzay araçlarını geliştirecektir.

1957 yılına gelene kadar hem Amerika'da hem de Sovyetler Birliği'nde çok ciddi roket projeleri geliştirildi. 4 Ekim 1957'de Sovyetler Birliği ilk uydu Sputnik-1'i yörüngeye oturttu. Bu uydu 4 Ocak 1958'de düştü. Daha sonra 3 Kasım 1957'de Sputnik-2 ile ilk canlıyı (Leika adlı bir köpek) uzaya gönderenler de Sovyetler Birliği oldu. Sputnik-2, 14 Nisan 1958'de düştü. ABD ise ilk uydusunu 1 Şubat 1958'de fırlattı. Bu, portakal büyüklüğünde bir uydu idi.

Uzay çalışmaları tarihine baktığımızda ilk adım, ilk uydunun atılması (1957); ikinci adım, ilk insanın uzaya çıkışı ve ilk yürüyüş (1965); üçüncü adım, Ay'a gidiştir (1969). Bu tarihten sonra uzay yolculukları baş döndürücü bir hızla gelişmiş ve bugün bu uzay çalışmalarının nimetlerinden faydalanmayan hiçbir bilim dalı kalmamıştır.

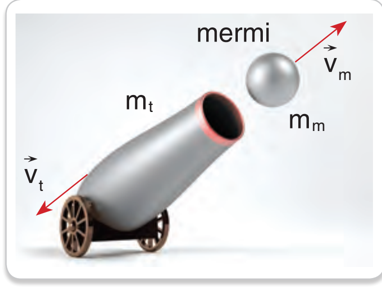


Araştırma Görevi

Roketlerin hareket etme prensibini öğrendiniz. Roketler uzay boşluğunda nasıl yön değiştirir?

Benzer biçimde uzay boşluğundaki bir astronotun hızını ve hareket yönünü değiştirmek için neler yapması gerektiğini araştırınız. Araştırma sonuçlarını arkadaşlarınızla paylaşınız.





Şekil 1.68 *Mermi ateşlendiğinde topun gövdesi geri teper.*

Ateşlenen bir top veya silah da rokettekine benzer olarak geri tepmeye neden olur. Şekil 1.68'de topun ateşlenmesi ile merminin ayrılma anı gösterilmiştir. Burada mermi ilerlerken top geri tepilir. Ateşleme öncesi çizgisel momentum sıfır olup ateşleme sonrası çizgisel momentumların toplamına eşittir.

$$\Sigma\vec{P}_{ilk} = \Sigma\vec{P}_{son} = 0$$

$\Sigma\vec{P}_{son} = m_m \cdot \vec{v}_m + m_t \cdot \vec{v}_t = 0$ olur. Buna göre

$\vec{v}_t = -\dfrac{m_m}{m_t} \cdot \vec{v}_m$ olur.

Bu eşitlikte;

m_m : Merminin kütlesi,

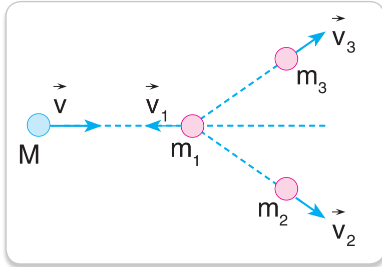
$\vec{v}_m$: Merminin hızı,

m_t : Topun kütlesi,

$\vec{v}_t$: Topun geri tepme hızıdır.

c. Patlamalar

Duran veya hareket hâlindeki cisim, bir dış kuvvet veya bir dış etki olmadan iç patlama sonucu parçalandığında, patlama öncesindeki çizgisel momentum patlama sonrasındaki parçaların çizgisel momentumlarının vektörel toplamına eşittir.



Şekil 1.69 *İç patlama sonucu üç parçaya ayrılan cisim*

Şekil 1.69'daki gibi $\vec{v}$ hızı ile hareket eden M kütleli cisim, bir iç patlama sonucu 3 parçaya bölünsün. Çizgisel momentumun korunumundan,

$$\Sigma\vec{P}_{ilk} = \Sigma\vec{P}_{son}$$

$M \cdot \vec{v} = m_1 \cdot \vec{v}_1 + m_2 \cdot \vec{v}_2 + m_3 \cdot \vec{v}_3$ eşitliği yazılabilir.

Çizgisel Momentum-Kinetik Enerji İlişkisi

Bir cismin çizgisel momentumu $P = m \cdot v$ ile ifade edilirken kinetik enerjisi de $E_k = \frac{1}{2}mv^2$ ile ifade edilir. Dikkat edilirse her iki büyüklük de kütle ve hız cinsinden ifade edilmektedir. Bu durumda "Her iki büyüklük birbiri cinsinden yazılabilir mi?" sorusu düşünülebilir. Kinetik enerji formülündeki pay ve payda kütle ile çarpılarak genişletilirse

$E_k = \dfrac{1}{2}mv^2 \cdot \dfrac{m}{m} = \dfrac{1}{2} \cdot \dfrac{(m \cdot v)^2}{m}$ olur. $(m \cdot v)^2$ yerine P^2 yazılacak olursa $E_k = \dfrac{P^2}{2m}$ elde edilir.

1.7.4. Çizgisel Momentumun Korunumu ile İlgili Hesaplamalar

ÖRNEK 60



Aynı doğrultuda 10 m/s ve 5 m/s hızlarla atılan cisimlerin kütleleri sırasıyla 1 kg ve 4 kg'dır. Cisimler esnek çarpışma yaptığına göre çarpışma sonrası her birinin hızını bulunuz. (Sürtünmeler önemsenmiyor.)

ÇÖZÜM

a) Çizgisel momentumun korunumundan,

$\Sigma \vec{P}_{ilk} = \Sigma \vec{P}_{son}$

$m_1 \cdot \vec{v}_1 + m_2 \cdot \vec{v}_2 = m_1 \cdot \vec{v}_1' + m_2 \cdot \vec{v}_2'$ yazılabilir.

Sağ taraf "+", sol taraf "–" yön olarak seçildiğinde

$1 \cdot (+10) + 4 \cdot (-5) = 1 \cdot v_1' + 4 \cdot v_2'$ ve

$v_1' + 4v_2' = -10$ bulunur. (1)

Hızların korunumundan,

$\vec{v}_1 + \vec{v}_1' = \vec{v}_2 + \vec{v}_2'$

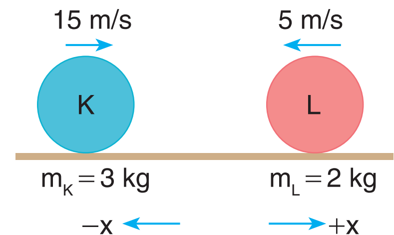
$10 + v_1' = -5 + v_2'$

$v_1' = v_2' - 15$ elde edilir. (2)

(1) ve (2) numaralı eşitliklerden $v_1' = -14$ m/s, $v_2' = +1$m/s bulunur. Bu sonuç çarpışmadan sonra 1 kg kütleli cismin sol tarafa 14 m/s hızla gittiğini, 4 kg kütleli cismin ise sağ tarafa 1 m/s hızla gittiğini anlatır.

ÖRNEK 61

Şekildeki yatay düzlem üzerinde, aynı doğrultuda, zıt yönlerde hareket eden K ve L bovling toplarının hızları sırasıyla +x yönünde 15 m/s, –x yönünde 5 m/s; kütleleri ise 3 kg ve 2 kg'dır. Merkezi çarpışmadan sonra K topu –x yönünde 1 m/s hızla hareket ettiğine göre;



a) L topu hangi yönde, hangi hızla hareket eder?

b) Çarpışma esnek midir?

ÇÖZÜM

Çarpışma öncesi ve sonrası bilinen çizgisel momentumları bulalım ve vektör olarak gösterelim.

Çarpışma öncesinde K topunun çizgisel momentumu

$P_K = m_K \cdot v_K = 3 \cdot 15 = 45$ kg.m/s (+x yönünde) olur.

L topunun çizgisel momentumu

$P_L = m_L \cdot v_L = 2 \cdot 5 = 10$ kg.m/s (–x yönünde) olur.

Çarpışma sonrasında K topunun çizgisel momentumu

$P'_K = m_K \cdot v'_K = 3 \cdot 1 = 3$ kg.m/s $(-x$ yönünde$)$

L topunun çizgisel momentumu: P'_L ise bilinmiyor.

$P_L = 10$ kg.m/s $P_K = 45$ kg.m/s $P_K{}' = 3$ kg.m/s $\vec{P'_L} = ?$

$P_{ilk} = 35$ kg.m/s $P_{son} = 35$ kg.m/s

Çarpışmadan önce Çarpışmadan sonra

Çizgisel momentumun korunumundan,

$\Sigma\vec{P}_{ilk} = \Sigma\vec{P}_{son}$

$m_K \cdot \vec{v_K} + m_L \cdot \vec{v_L} = m_K \cdot \vec{v'_K} + m_L \cdot \vec{v'_L}$

$3 \cdot (+15) + 2 \cdot (-5) = 3 \cdot (-1) + 2 \cdot v_L$

$v'_L = +19$ m/s bulunur. L topu, +x yönünde 19 m/s hızla hareket eder.

b) Çarpışmanın esnek olması için çarpışmadan önceki toplam kinetik enerjinin, çarpışmadan sonraki toplam kinetik enerjiye eşit olması gerekir.

Çarpışmadan önceki toplam kinetik enerji,

$$\Sigma E_{k(ilk)} = \frac{1}{2} \cdot m_K \cdot v_K^2 + \frac{1}{2} \cdot m_L \cdot v_L^2$$

$$= \frac{1}{2} \cdot 3 \cdot 15^2 + \frac{1}{2} \cdot 2 \cdot 5^2$$

$$= 362,5 \text{ J bulunur.}$$

Çarpışmadan sonraki toplam kinetik enerji,

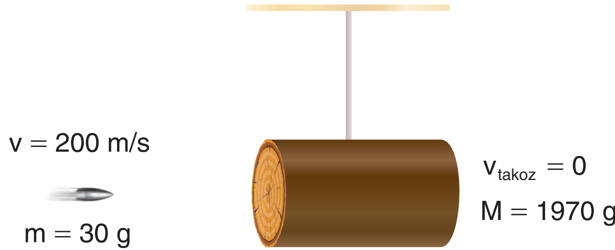
$$\Sigma E_{k(ilk)} = \frac{1}{2} \cdot m_K \cdot v_K'^2 + \frac{1}{2} \cdot m_L \cdot v_L'^2$$

$$= \frac{1}{2} \cdot 3 \cdot 1^2 + \frac{1}{2} \cdot 2 \cdot 19^2$$

$$= 362,5 \text{ J bulunur.}$$

Çarpışmadan önceki toplam kinetik enerji, çarpışmadan sonraki toplam kinetik enerjiye eşittir. Çarpışma sırasında kinetik enerji korunduğu için çarpışma esnektir.

ÖRNEK 62



Kütlesi 30 g olan mermi, ipin ucuna bağlı olarak duran 1970 g kütleli takoza 200 m/s hızla çarparak saplanıyor. Çarpma sonrası,

a) Birlikte çıkabilecekleri maksimum yüksekliği,

b) Çarpışma sırasında sistemde diğer enerji türlerine dönüşen kinetik enerjiyi bulunuz. (g = 10 m/s² alınız. Hava direncini ve çarpışma sırasında eksilen kütleyi ihmal ediniz.)

ÇÖZÜM

a) Çarpışmadan hemen önceki toplam çizgisel momentum, çarpışmadan hemen sonraki toplam çizgisel momentuma eşittir.



Çarpışmadan önce Çarpışmadan sonra

$$\Sigma P_{ilk} = m \cdot v = 30 \cdot 10^{-3} \cdot 200 = 6 \ kg \cdot m/s$$

$$\Sigma \vec{P}_{son} = (M + m) \cdot \vec{v}_{ort}$$

$$\Sigma \vec{P}_{ilk} = \Sigma \vec{P}_{son}$$

$$6 = (M + m) \,.\, v_{ort}$$

$$6 = \left(1970 \cdot 10^{-3} + 30 \cdot 10^{-3}\right) \cdot v_{ort}$$

$v_{ort} = 3$ m/s olur.

Çarpışma esnek olmadığı için çarpışma sırasında mekanik enerjinin bir kısmı diğer enerji türlerine dönüşmüştür. Ancak çarpışmadan sonraki enerji, hava sürtünmesi ihmal edildiği için korunur. Çarpışmadan hemen sonraki kinetik enerji, cisimler

maksimum yüksekliğe çıktığında potansiyel enerjiye dönüşmüştür. Bu durum için,

$\frac{1}{2}(M+m)\cdot v_{ort}^2=(M+m)\cdot g\cdot h_{maksimum}$ olur. Birlikte çıkabilecekleri maksimum yükseklik,

$$v_{ort}^{\ 2}=2\cdot g\cdot h_{maksimum}$$

$$3^2=2\cdot 10\cdot h_{maksimum}$$

$h_{maksimum}=0,45$ m'dir.

b) Çarpışmadan önceki toplam kinetik enerji,

$$\Sigma E_{k(ilk)}=\frac{1}{2}\cdot m\cdot v^2+\frac{1}{2}\cdot M\cdot v_{takoz}^2$$

$$\Sigma E_{k(ilk)}=\frac{1}{2}\cdot 30\cdot 10^{-3}\cdot 200^2+\frac{1}{2}\cdot 1970\cdot 10^{-3}\cdot 0^2$$

$\Sigma E_{k(ilk)}=600$ J bulunur.

Çarpışmadan sonraki toplam kinetik enerji,

$$\Sigma E_{k(son)}=\frac{1}{2}\cdot(M+m)\cdot v_{ort}^2$$

$$\Sigma E_{k(son)}=\frac{1}{2}\cdot\left(1970\cdot 10^{-3}+30\cdot 10^{-3}\right)\cdot 3^2$$

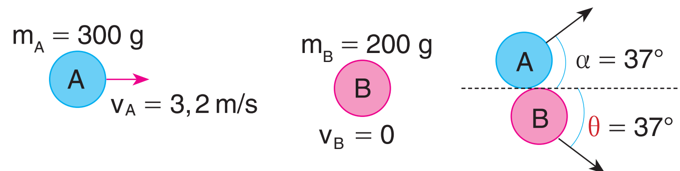
$\Sigma E_{k(son)}=9$ J bulunur.

$600-9=591$ J kinetik enerji çarpışma sırasında diğer enerji türlerine dönüşmüştür.

ÖRNEK 63

Kütlesi 300 g olan A topu, duran 200 g kütleli B topuna 3,2 m/s hızla çarpıyor ve çarpışma sonrası her iki top da x ekseni ile 37° açı yaparak hareket ediyor. Çarpışma sonrası topların hızlarını bulunuz.

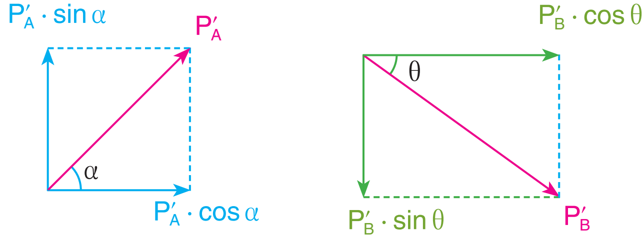
($\sin 37°=0,6$; $\cos 37°=0,8$)



ÇÖZÜM

Öncelikle çarpışmadan önceki çizgisel momentum değerini bulalım.

$$\Sigma \vec{P}_{ilk} = m_A \cdot \vec{v}_A = 0,3 \cdot 3,2 = 0,96 \, kg \cdot m/s$$



Çarpışmadan önce y ekseni doğrultusunda çizgisel momentum olmadığından çarpışma sonrasında da y ekseni doğrultusunda çizgisel momentum olmamalıdır. Buradan,

$$P'_A \cdot \sin\alpha = P'_B \cdot \sin\theta$$

$$m_A \cdot v'_A \cdot \sin 37° = m_B \cdot v'_B \cdot \sin 37°$$

$$0,3 \cdot v'_A = 0,2 \cdot v'_B$$

$$3 \cdot v'_A = 2 \cdot v'_B$$

$$v'_A = \frac{2}{3} v'_B \text{ elde edilir. (1)}$$

Çarpışmadan önceki ve sonraki x ekseni doğrultusundaki momentumların eşitliği kullanılarak

$$\Sigma P_{ilk} = P'_A \cdot \cos\alpha + P'_B \cdot \cos\theta$$

$$0,3 \cdot 3,2 + 0,2 \cdot 0 = 0,3 \cdot v'_A \cdot 0,8 + 0,2 \cdot v'_B \cdot 0,8$$

$$0,96 = 0,24 \cdot v'_A + 0,16 \cdot v'_B$$

$$12 = 3v'_A + 2v'_B \text{ elde edilir. (2)}$$

(2) numaralı eşitlik üzerinde (1) numaralı eşitlik uygulanırsa

$$12 = 3 \cdot \left(\frac{2v'_B}{3}\right) + 2v'_B$$

$v'_B = 3$ m/s ve $v'_A = 2$ m/s bulunur.



Sıra Sizde 1.44

Bu örnekteki topların yaptığı çarpışmanın esnek olup olmadığını bulunuz.



ÖRNEK 64

Görseldeki gibi sadece maddi hasarla atlatılmış bir kazadan önce 1500 kg kütleli mavi araba 20 m/s hızla doğuya, 1000 kg kütleli beyaz araba ise 40 m/s hızla güneye doğru gitmekteydi. Çarpışma esnek olmadığına göre arabaların çarpışma sonrası ortak hızlarını bulunuz.

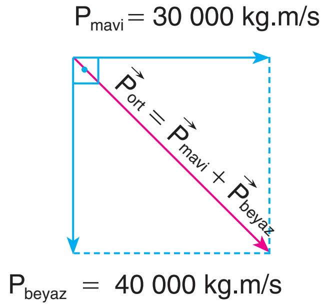
ÇÖZÜM

Çarpışma iki boyutta esnek olmayan çarpışmadır. Her çarpışmada olduğu gibi bu çarpışmada da çizgisel momentum korunur.

$$\Sigma\vec{P}_{ilk} = \Sigma\vec{P}_{son}$$

$$\vec{P}_{mavi} + \vec{P}_{beyaz} = \vec{P}_{ort}$$

Çarpışma öncesindeki çizgisel momentum değerleri bulunur ve vektörel olarak çizilir.



$P_{mavi} = 1500 \cdot 20 = 30\ 000$ kg.m/s $= 3 \cdot 10^4$ kg.m/s

$P_{beyaz} = 1000 \cdot 40 = 40\ 000$ kg.m/s $= 4 \cdot 10^4$ kg.m/s olur.

P_{ort} ise Pisagor Teoremi uygulanarak

$$P^2_{ort} = P^2_{beyaz} + P^2_{mavi}$$

$$P^2_{ort} = (3 \cdot 10^4)^2 + (4 \cdot 10^4)^2$$

$P_{ort} = 5 \cdot 10^4$ kg · m/s bulunur.

$$\vec{P}_{ort} = (m_{beyaz} + m_{mavi}) \cdot \vec{v}_{ort}$$

$$5 \cdot 10^4 = (1500 + 1000) \cdot v_{ort}$$

$v_{ort} = 20$ m/s bulunur.



Sıra Sizde 1.45

Bu örnekteki arabaların çarpışma sırasında kaybettiği kinetik enerjiyi bulunuz.

ÖRNEK 65

Meteorolojik gözlemler yapmak için atmosferin üst katmanlarına gönderilmek istenen roket, ilk harekete geçişi sırasında 250 kg gazı 400 m/s hızla geri attığında kendi kütlesi 1250 kg kalıyor. Bu sırada roketin hızında meydana gelen değişimi bulunuz.

ÇÖZÜM

Roketin hareketi öncesi çizgisel momentumu sıfır olduğu için, hareket sonrasında gazın ve roketin toplam çizgisel momentumları da sıfır olmalıdır.

$\Delta \vec{v}$: Roketin hızındaki değişim,

m: Roketin kütlesi,

Δm: Gazın kütlesi,

$\vec{v}_{gaz}$: Gazın atılma hızı olmak üzere

$m \cdot \Delta \vec{v} + \Delta m \cdot \vec{v}_{gaz} = 0$

$1250 \cdot \Delta v + 250 \cdot 400 = 0$ ve $\Delta v = -80$ m/s bulunur. Buradaki "–" işareti, roketin hızı ile atılan gazın hızının zıt yönlerde olduğunu gösterir.



Sıra Sizde 1.46

Atıcılık sporu yapan kişinin kullandığı tüfeğin kütlesi 2000 g'dır. Tüfekle hedefe ateş edildiğinde 20 g kütleli mermi 160 m/s hızla harekete geçtiğine göre tüfeğin geri tepme hızını bulunuz.



ÖRNEK 66

Aşağıdan yukarıya düşey olarak 50 m/s ilk hızla atılan 4 kg kütleli cisim 2 s sonra 1 kg ve 3 kg kütleli iki parçaya ayrılıyor. 1 kg kütleli parça patlama sonrası serbest düşme yaptığına göre 3 kg kütleli cisim yerden en fazla kaç metre yüksekliğe kadar çıkabilir? ($g = 10$ m/s^2 alınız ve hava direncini ihmal ediniz.)

ÇÖZÜM

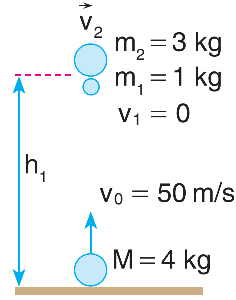
Yukarı yönde 50 m/s hızla atılan cismin 2 s sonraki hızının büyüklüğü,

$v' = v_0 - g \cdot t = 50 - 10 \cdot 2 = 30$ m/s bulunur.

Patlama gerçekleşmeden hemen önceki çizgisel momentum,

$P_{ilk} = M \cdot v' = 4 \cdot 30 = 120$ kg$\cdot$ m/s'dir ve cisim yukarı yönde hareket ettiği için bu çizgisel momentum da yukarı yönlüdür.

Patlamadan hemen sonraki çizgisel momentumun büyüklüğü de 120 kg.m/s ve yukarı yönlü olmalıdır.



$\Sigma \vec{P}_{ilk} = \Sigma \vec{P}_{son}$

$120 = m_1 \cdot v_1 + m_2 \cdot v_2$

$120 = 1 \cdot 0 + 3 \cdot v_2$

$v_2 = 40$ m/s bulunur.

Hızın "+" işaretli olması 3 kg kütleli parçanın yukarı yönde hareket ettiğini gösterir.

Patlama anının gerçekleştiği yükseklik h_1 ise

$h_1 = v_0 \cdot t - \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2 = 50 \cdot 2 - \frac{1}{2} \cdot 10 \cdot 2^2 = 80$ m bulunur.

Bu yükseklikten itibaren 3 kg kütleli cisim yukarı yönde 40 m/s ilk hızla hareket eder ve hava direnci ihmal edildiği için bu andan itibaren enerjinin korunumu uygulanabilir. Patlama anında sahip olduğu kinetik enerji maksimum yükseklikte potansiyel enerjiye dönüşür. Patlamadan itibaren çıkabileceği maksimum yükseklik h_2 olmak üzere

$E_K = E_P$

$\frac{1}{2} \cdot m_2 \cdot v_2^2 = m_2 \cdot g \cdot h_2$

$\frac{1}{2} \cdot 3 \cdot 40^2 = 3 \cdot 10 \cdot h_2$

$h_2 = 80$ m olur.

Patlama yerden $h_1 = 80$ m yükseklikte gerçekleştiği için 3 kg kütleli cisim yerden $h_{maksimum} = h_1 + h_2 = 80 + 80 = 160$ m yüksekliğe çıkabilir.



1. ÜNİTE: 7. BÖLÜM DEĞERLENDİRME SORULARI

A. Aşağıdaki cümlelerde boş bırakılan yerleri uygun kelimeleri kullanarak tamamlayınız.

itme | çizgisel momentum | kinetik enerji | hız değişimi | momentum korunumu | ısı | ses

1. Cismin kütlesi ve o anda sahip olduğu hızın çarpımı ile elde edilen büyüklüğe .... denir.

2. Esnek olmayan çarpışmalarda .... korunmaz.

3. Belirli bir süre net kuvvet etkisi altında kalan cismin hızında değişme olur. Kuvvetin bu süre içinde yaptığı etkiye .... denir.

4. Esnek olmayan çarpışmalarda mekanik enerjinin bir kısmı .... ve .... gibi diğer enerji türlerine dönüşür.

5. Çarpışma, patlama vb. fiziksel olaylardan önceki toplam çizgisel momentumun, olay sonrasındaki toplam çizgisel momentuma eşit olması .... olarak adlandırılır.

B. Aşağıdaki cümlelerin başına doğru ise “D”, yanlış ise “Y” yazınız.

1. ( ) Bir cisme net bir F kuvveti uygulandığında oluşan itme, çizgisel momentumdaki değişime eşittir.

2. ( ) Esnek olmayan çarpışmalarda, kinetik enerji bazı durumlarda korunur.

3. ( ) Yere dik olarak v büyüklüğünde bir hızla çarpan top tekrar v hızı ile yerden ayrıldığında çizgisel momentumu değişmez.

4. ( ) İtme ve çizgisel momentum, vektörel büyüklüklerdir.

5. ( ) Hareket hâlindeki arabaya uygulanan net kuvvet sıfır ise çizgisel momentumu değişmez.

6. ( ) Aynı doğrultuda hareket eden toplar çarpıştıklarında, önceki doğrultularından farklı bir doğrultuda hareket edebilir.

7. ( ) Hareket eden otobüsün içindeki bir yolcu önündeki koltuğa kuvvet uyguladığında otobüsün çizgisel momentumu değişmez.

C. Aşağıdaki soruları cevaplayınız.

1. Aynı ilk hızlara sahip bir kamyona ve otomobile, aynı sürede durmaları için uygulanması gereken fren kuvvetlerini itme ve çizgisel momentum kavramlarını kullanarak açıklayınız.

2. Durgun su üzerinde bulunan kayıktaki kişi yürümek istediğinde kayık da zıt yönde harekete geçer. Bu durumu çizgisel momentum kavramı ile nasıl açıklarsınız?

3. Serbest düşmeye bırakılan bir taşın yere düşene kadar üzerine uygulanan itmenin bağlı olduğu etkenler nelerdir?

4. Dünya'da ve Ay'da aynı yükseklikten bırakılan özdeş iki futbol topunun,

   a) Düşene kadar üzerlerine uygulanan itmeleri karşılaştırınız.

   b) Yere çarpma hızlarını, itme ve çizgisel momentum kavramlarını kullanarak karşılaştırınız.

5. Buz üzerindeyken av tüfeği ile ateş eden kişinin geriye doğru hareket etmesi olayını nasıl açıklarsınız?

Ç. Aşağıdaki problemleri çözünüz.

1. Masa tenisi oynayan sporcu kendisine doğru 7,5 m/s hızla gelen 6 g kütleli topa raketiyle vurarak 10 m/s hıza ulaşmasını sağlıyor. Sporcunun topa vuruşu sonucu top geliş doğrultusu ile 90° açı yapacak şekilde geri döndüğüne göre topa uygulanan itmeyi bulunuz.



2. Basketbol hakemi, kütlesi 700 g olan basketbol topunu elinden 8 m/s hızla yukarı yönde fırlatıyor. Top tekrar atılma seviyesine geliyor. Buna göre;

   a) Hareketi boyunca topa uygulanan itmeyi,

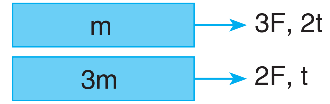
   b) Hareketin sonunda topun çizgisel momentumundaki değişimi,

   c) Çizgisel momentum ve itme arasındaki ilişkiyi kullanarak topun havada kalma süresini bulunuz.

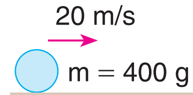
   ($g = 10$ m/s^2 alınız ve hava direncini ihmal ediniz.)



3. Sürtünmesiz yatay düzlemdeki m kütleli kutuya 3 F kuvveti 2t süre boyunca uygulanırsa oluşan itme I_1, 3m kütleli kutuya 2F kuvveti t süre boyunca uygulanırsa oluşan itme I_2 oluyor. İtmelerin büyüklükleri oranı $\frac{I_1}{I_2}$ 'yi bulunuz. (Sürtünmeler ihmal ediliyor.)



4. Sürtünmesiz yatay düzlemde 20 m/s hızla hareket eden top düşey duvara çarparak 10 m/s hızla geri dönüyor. Topun duvarla temas süresi 0,2 s olduğuna göre;

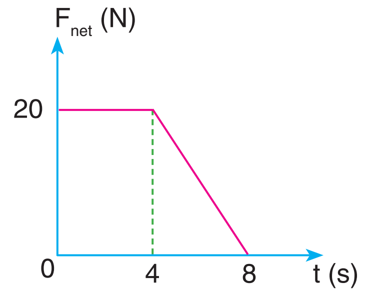


a) Topa uygulanan itmeyi,

b) Topa uygulanan ortalama kuvveti,

c) Çarpma sırasında diğer enerji türlerine dönüşen kinetik enerjiyi bulunuz.

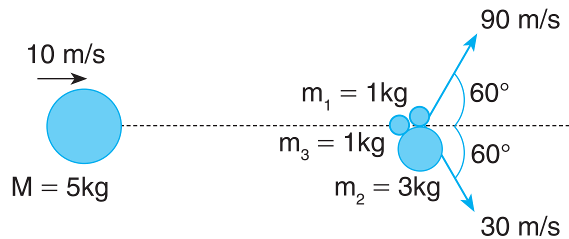
5. İlk hızı 4 m/s olan 5 kg kütleli cisme sürtünmesiz bir ortamda ilk hareketi ile aynı yönde uygulanan net kuvvetin zamana göre değişimi grafikteki gibidir. Cismin 8 s sonundaki hızını bulunuz.



6. Yerden 75 m yükseklikten düşey olarak aşağı yönde 10 m/s hızla atılan 150 g kütleli beyzbol topuna, yere düşene kadar geçen zamanda uygulanan itmeyi ve topun yere çarpma hızını bulunuz. ($g=10\ m/s^2$ alınız ve hava direncini ihmal ediniz.)

7. 5 kg kütleli cisim yatay ve sürtünmesiz düzlemde 10 m/s hızla ilerlerken bir iç patlama sonucu 1kg, 1 kg ve 3 kg kütleli üç parçaya bölünüyor. Parçalardan ikisi şekilde verilen yön ve hızlarda hareket ettiğine göre üçüncü parçanın hızını ve hareket yönünü bulunuz.

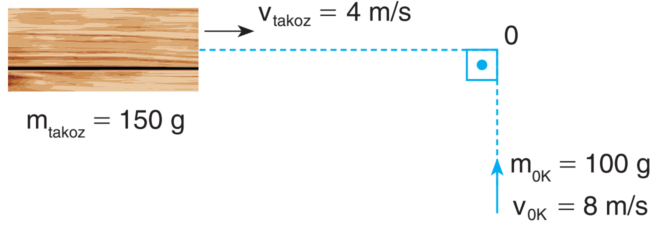
$(\cos 60° = \frac{1}{2}, \sin 60° = \frac{\sqrt{3}}{2})$



8. 150 g kütleli tahta takoz sürtünmesiz yatay düzlemde 4 m/s hızla ilerlerken hareketine dik doğrultuda 8 m/s hızla atılan 100 g kütleli ok takoza saplanıyor. Buna göre;

a) Ok saplandıktan sonraki ortak hızı,

b) Çarpışma sırasında dönüşen kinetik enerjiyi bulunuz.



9. Meteorolojik araştırmalar sırasında fırlatılan bir roketten 300 m/s hızla 250 kg yakıt atıldığında roketin kütlesi 1500 kg kalmaktadır. Roketin bu sırada hızında meydana gelen değişimi bulunuz.

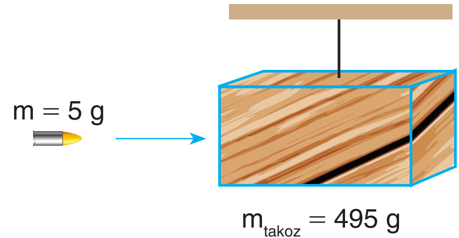
10. Gölün durgun bölümünde 60 kg kütleli kayıkta oturan balıkçı ayağa kalkıp ön tarafa doğru kayığa göre 0,3 m/s hızla yürümeye başlıyor. Balıkçının kütlesi 80 kg olduğuna göre kayık kaç m/s büyüklüğünde hızla harekete geçer?



D. Aşağıdaki test sorularını çözünüz.

1. Bir deney yapılarak merminin hızı bulunmak isteniyor. Bu deney için yeterince uzun bir ipe bağlanmış 495 g kütleli takoza ateş ediliyor. Mermi takoza saplandıktan sonra birlikte ilk konumlarına göre 20 cm yüksekliğe çıkıyor. Buna göre merminin takoza saplandığı andaki hızını bulunuz.

($g=10$ m/s^2 alınız ve hava direncini ihmal ediniz.)



A) 2 **B)** 20 **C)** 60 **D)** 100 **E)** 200

2. Çizgisel momentumu 800 kg.m/s olarak hesaplanan bir bisikletlinin bisikletle birlikte kütlesi 80 kg olduğuna göre kinetik enerjisini kinetik enerji-momentum ilişkisini kullanarak bulunuz.

A) 10 **B)** 80 **C)** 400 **D)** 4000 **E)** 8000

1.8. TORK

Bu bölümde;

- Kuvvet etkisiyle torku (kuvvet momentini),
- Torkun bağlı olduğu değişkenleri,
- Torkun yönünü belirlemeyi,
- Günlük hayatta karşılaştığımız dönme olaylarını problem hâline getirerek çözüm yolları üretmeyi öğreneceğiz.

Kavramlar

- Tork
- Tork vektörü
- Toplam tork

TAHTEREVALLİ PROBLEMİ

Annem, evde yapılması gereken çok işi olduğu için parka gitmekte ısrar eden küçük kardeşimi bir saatliğine parkta oynatmamı rica etti. Birkaç sokak ötedeki parka gittik. Salıncak, kaydırak derken sıra tahterevalliye geldi. Kardeşim tahterevalliye binelim diye tutturdu. Ağırlıklarımızın eşit olmadığını, bu yüzden denge kuramayacağımızı anlatmaya çalıştım ama nafile. Tahterevallinin iki oturağı, dönme noktasına eşit uzaklıkta olduğu için ikimiz bindiğimizde ben aşağıda kalıyordum, kardeşimse yukarıda kalıyordu (Görsel 1.110). Şimdi bu soruna bir çözüm bulmam gerekliydi. Ağırlığımı değiştiremeyeceğime göre neyi değiştirebileceğim üzerinde kafa yordum ve sonunda bir çözüm üretebildim. Sizce nasıl bir çözüm bulmuşumdur?



Görsel 1.110 *Tahterevalliye binen kişilerden ağırlığı fazla olan aşağıda kalır.*

1.8.1. Tork

Günlük hayatta kapı ve pencere kolları, vida anahtarı (Görsel 1.111), tahterevalli (Görsel 1.112), musluk (Görsel 1.113), bisiklet pedalı (Görsel 1.114) gibi kuvvetin döndürme etkisinden yararlanılan birçok alet ve eşya kullanılır.

Daha önce Newton Hareket Kanunları'nda, uygulanan kuvvetin cisimlerin hareketi üzerinde değişmeye sebep olduğunu öğrenmiştiniz. Bir cisme uygulanan kuvvet öteleme hareketine sebep olabileceği gibi döndürme etkisine de sahip olabilir.

Bir cismin bir eksen etrafında dönmesini sağlayan etkiye **"tork"** denir. Tork, dönme momenti ya da kuvvet momenti olarak da adlandırılır.

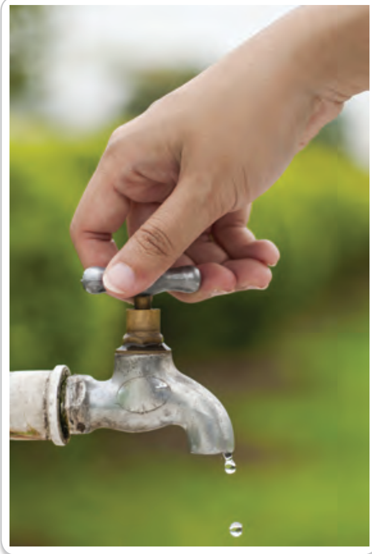
Günlük hayatta, kuvvetin döndürme etkisi olan tork için başka örnekler verebilir misiniz?



Görsel 1.111 *Kuvvetin döndürme etkisi kullanılarak vida anahtarı ile bir cıvatayı söküp takabiliriz.*



Görsel 1.112 *Tahterevalliye oturduğumuzda, ağırlık nedeniyle bir dönme etkisi oluşur.*



Görsel 1.113 *Musluğa uygulanan kuvvet yardımıyla bir dönme hareketi sağlanır ve bu sayede suyun akışı kontrol edilir.*



Görsel 1.114 *Bisiklet pedalına ayağımızla uyguladığımız kuvvet dönme hareketini sağlayarak ilerlememizi sağlar.*

1.8.2. Torkun Bağlı Olduğu Değişkenler

Kuvvetin döndürme etkisi, sadece kuvvetin büyüklüğüne mi bağlıdır?

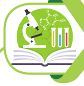
Bunu günlük hayatınızda algılarsınız ama açıklayamayabilirsiniz. Şimdi aşağıdaki sorularla ilgili yorumlar yapmaya çalışınız.

• Neden kapı kolları menteşelerden en uzak noktalarda bulunur?

• Sıkışmış cıvataları açmak için neden uzun saplı İngiliz anahtarları tercih edilir?

• Kuyudan su çekerken daha az yorulmak için döndürdüğünüz kol kısa mı yoksa uzun mu olmalıdır?

Soruların cevaplarını yorumlarken Etkinlik 1.5 size yardımcı olabilir.



Etkinlik 1.5

Tork Nelere Bağlıdır?

Araç Gereçler

- Bir kapı veya pencere

Amacı: Torkun bağlı olduğu değişkenleri incelemek



Etkinliğin Basamakları

- Kapının menteşesi hizasında parmağınızla bir kuvvet uygulayınız. Kapıyı bu şekilde döndürmek mümkün oldu mu?



- Şimdi ise menteşeye en uzak noktadan menteşelere doğru aynı büyüklükte bir kuvvet uygulayınız. Bu şekilde uygulanan bir kuvvetle kapıyı döndürmek mümkün oldu mu?



➤ Kapı koluna yakın bir yerden kapıya dik olacak şekilde yine aynı büyüklükte bir kuvvet uygulayınız. Bu şekilde uygulanan bir kuvvetle kapıyı döndürebildiniz mi?



➤ Aynı büyüklükte bir kuvveti yine kapıya dik olacak şekilde fakat menteşeye daha yakın bir noktadan uygulayınız. Kapıyı bu kuvvetin etkisiyle döndürebildiniz mi?



Sonuca Varalım

➤ Etkinliğin 1. basamağındaki gibi tam dönme ekseninden uygulanan bir kuvvet tork oluşturur mu?

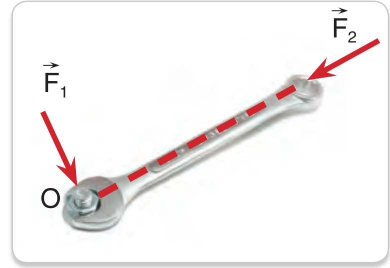
➤ Etkinliğin 2. basamağındaki gibi uzantısı dönme ekseninden geçecek şekilde uygulanan bir kuvvet tork oluşturur mu?

➤ Etkinliğin 3 ve 4. basamaklarındaki gibi kapıya uygulanan kuvvetler tork oluşturabilir mi?

➤ Hangi basamaklarda tork oluştu? Tork oluşan durumlarda aynı kuvvetler uygulanmasına rağmen kapı aynı kolaylıkta döndü mü? Neden?

Günlük hayatta kullanılan araç-gereçlerden bazıları kuvvetin döndürme etkisinden faydalanılarak yapılır. Yapılan etkinlikte kuvvetin her durumda döndürme etkisi oluşturmadığını gördük. Etkinliğin 1 ve 2. basamaklarındaki gibi dönme ekseninden veya uzantısı dönme ekseninden geçecek şekilde uygulanan kuvvetler tork etkisi oluşturamazlar. 3 ve 4. basamaktaki gibi uygulanan kuvvetler ise aynı büyüklükte olmalarına rağmen aynı büyüklükte tork oluşturmadılar. Bunun nedeni ise dönme ekseninden uzaklaştıkça oluşan torkun daha büyük olmasıdır.

Görsel 1.115'teki gibi dönme noktasından uygulanan $\vec{F}_1$ kuvveti ve uzantısı dönme noktasından geçen $\vec{F}_2$ kuvveti anahtarı döndüremez. Dönme noktasından veya uzantısı dönme noktasından geçecek şekilde uygulanan kuvvetlerin döndürme etkisi olmayacağı için bu kuvvetler tork oluşturmaz. Yani torkları sıfır olur.



Görsel 1.115 *Anahtara, dönme noktasından veya uzantısı dönme noktasından geçen bir kuvvet uygulanırsa anahtar dönmez.*

Kuvvetin uygulandığı noktanın dönme eksenine olan dik uzaklığına **"kuvvet kolu"** denir. Görsel 1.116'da O noktası etrafında dönebilen anahtara uygulanan F kuvveti, kuvvet koluna diktir.

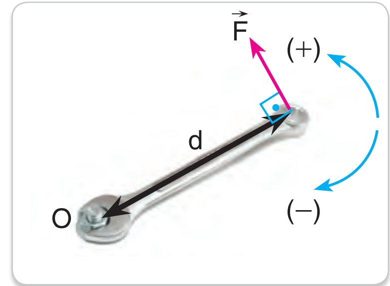
Kuvvetin oluşturduğu tork (τ)

$\vec{\tau} = \vec{F} \times \vec{d}$, bağıntısı ile ifade edilir. Torku veren bu ifade incelenecek olursa torkun vektörel bir büyüklük olduğu görülür. Kuvvetin kuvvet koluna dik olduğu durumlarda torkun büyüklüğü ise $\tau = F \cdot d$ ile bulunabilir.

F, uygulanan kuvvetin büyüklüğü; d ise kuvvetin uygulanma noktasının dönme eksenine olan uzaklığı, yani kuvvet kolunun uzunluğudur.

SI birim sisteminde kuvvet birimi N, uzunluk birimi m olduğu için torkun birimi N.m olur.

Görsel1.116'daki kuvvet cismi saat yönünün tersi yönünde döndürür. Torkun işareti; saat ibresi yönünde döndürme etkisi yapan kuvvetler için "–", saat ibresinin tersi yönünde döndürme etkisi yapan kuvvetler için "+" olarak seçilir. Buna göre Görsel 1.116'da oluşan tork "+" yöndedir.

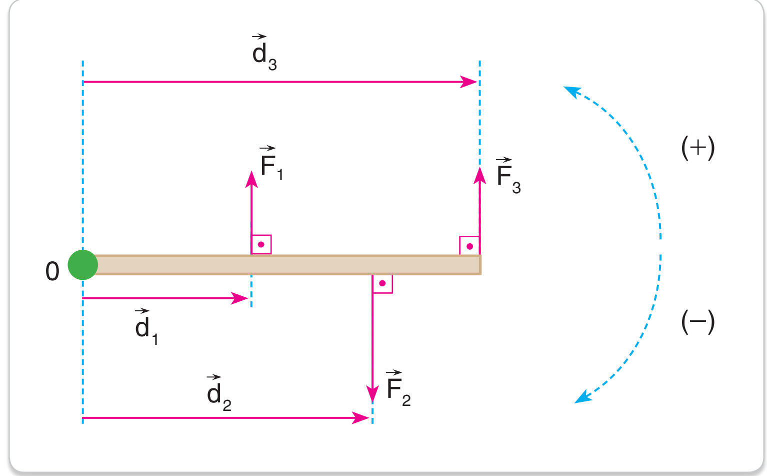


Görsel 1.116 *Kuvvet koluna dik uygulanan kuvvet*

Tork bağıntısına göre F ve d değerleri arttıkça cismin dönme eğilimi de artar. Bu yüzden bir kapıyı kapatırken menteşeden uzak bir kuvvet uygulamak kapının daha kolay döndürülmesini sağlar. Menteşeye doğru yaklaştıkça kapıya uygulanması gereken kuvvet artacak ve kapıyı döndürmek zorlaşacaktır.

Herhangi bir cisim birden fazla kuvvetin etkisinde döndürülmeye çalışılırsa cisim net torkun ya da toplam torkun yönünde hızlanarak döner. Eğer toplam tork sıfır ise cisim dönmez veya sabit bir hızla döner.

Şekil 1.70'teki gibi birden fazla kuvvet, kuvvet koluna dik uygulandığında "**toplam tork**" ya da "**bileşke tork**" her bir kuvvetin torkunun toplamına eşit olur.



Şekil 1.70 *Birden fazla kuvvet uygulanan çubuk toplam tork yönünde döner.*

$\vec{F}_1$ kuvvetinin oluşturduğu tork,

$\tau_1 = +F_1 \cdot d_1$

$\vec{F}_2$ kuvvetinin oluşturduğu tork,

$\tau_2 = -F_2 \cdot d_2$

$\vec{F}_3$ kuvvetinin oluşturduğu tork,

$\tau_3 = +F_3 \cdot d_3$ olur.

Üç kuvvetin oluşturduğu toplam tork ise

$\Sigma\tau = +F_1 \cdot d_1 - F_2 \cdot d_2 + F_3 . d_3$ olarak yazılır.

$\Sigma\tau$ sonucu "+" işaretli ise cisim artı "+" yönde, "–" işaretli ise eksi "–" yönde döner.

$\Sigma\tau = 0$ ise cisim dönmüyor demektir. Cisim dönmüyorsa artı "+" yönde cismi döndürmeye çalışan kuvvetlerin torklarının toplamı ile eksi "–" yönde döndürmeye çalışan kuvvetlerin torklarının toplamı eşit büyüklüktedir.



Okuma Parçası

TORKMETRE

1 m uzunluğundaki kuvvet koluna dik olarak uygulanan 1 N'lık kuvvetin oluşturduğu tork 1 N.m'dir. Araba motoru, uçak motoru, tekerlek, asansör gibi belirli bir yük binen araçların parçalarını bir arada tutan vida, cıvata, somun gibi malzemelerin güvenlik açısından minimum bir sıkıştırmaya sahip olması gerekir. Bunun elle veya tahmini olarak yapılması güvenli değildir.

Gerekli torku ayarlamak için "**torkmetre**" isimli aletler kullanılır (Görsel 1.117). Örneğin güvenlik açısından tekerlek cıvataları torkmetre kullanılarak sıkılır (Görsel 1.118).



Görsel 1.117 *Torkmetre aleti*



Görsel 1.118 *Güvenlik için torkmetre kullanılarak sıkılan tekerlek cıvataları*

Ayrıca arabaların teknik bilgileri içinde yer alan **"maksimum tork"** değerleri o arabanın motorunun sağlayabileceği torku gösterir. Bu değerin büyüklüğü aracın aynı zamanda gücü hakkında bilgi verir. Güçlü araç beklentisi olanlar öncelikle teknik bilgiler içinde yer alan maksimum tork değerini göz önünde bulundurur.

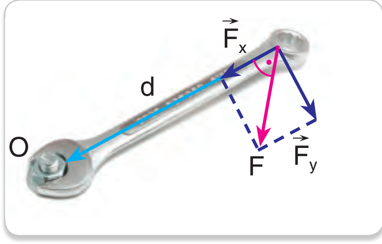
Uygulanan kuvvetler her zaman kuvvet koluna dik olmayabilir. Görsel 1.119'da, kuvvetin kuvvet koluna dik olmadığı bir durum görülmektedir. Bu durumda oluşan tork iki farklı yöntem kullanılarak bulunabilir.

1. yöntem olarak uygulanan $\vec{F}$ kuvveti biri kuvvet koluna paralel, diğeri ise dik olan bileşenlerine Görsel 1.120'deki gibi ayrılır.

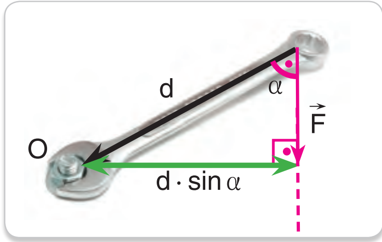
Kuvvetin x ekseni üzerindeki bileşeni, $F_x = F \cdot \cos\alpha$ olur ve bu bileşenin uzantısı O dönme noktasından geçeceği için torku 0 (sıfır) olur. Yani $\vec{F}_x$ bileşeni anahtarı döndürmez.



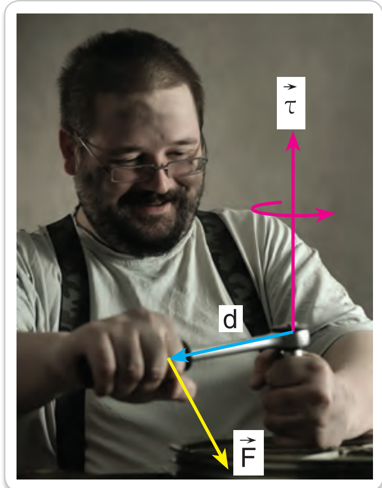
Görsel 1.119 *Kuvvetin, kuvvet koluna dik olmadığı durumlarda torku bulmak için iki yöntem kullanılabilir.*



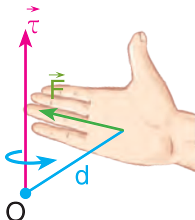
Görsel 1.120 Kuvvet koluna dik olmayan kuvvetin bileşenlerine ayrılarak torkun bulunması



Görsel 1.121 Kuvvetin dönme noktasına olan dik uzaklığının bulunması



Görsel 1.122 Cıvatayı anahtarla döndüren usta ve oluşan tork vektörünün yönü



y ekseni üzerindeki bileşeni, $F_y = F \cdot \sin\alpha$ olur ve bu bileşen kuvvet koluna dik olduğu için $F_y \cdot d$ kadar tork oluşturur. Oluşan toplam tork $\tau = F_y \cdot d = F \cdot \sin\alpha \cdot d$ kadar olur.

2. yöntem olarak, kuvveti bileşenlerine ayırmak yerine kuvvetin kuvvet koluna dik uzaklığı bulunarak hesaplanabilir. Bunun için aşağıdaki adımlar sırasıyla uygulanır.

- Görsel 1.121'de gösterildiği gibi F kuvvetinin doğrultusu çizilir.
- O dönme noktasından bu doğrultuya bir dikme çizilir. Çizilen bu dikmenin uzunluğu, kuvvetin kuvvet koluna dik uzaklığıdır. Bu uzaklığın değeri $d \cdot \sin\alpha$'dır.

Kuvvetin oluşturduğu torkun büyüklüğü,

$\tau = F \cdot d$

$\tau = F \cdot d \cdot \sin\alpha$ olur.

Sonuç olarak tork, uygulanan kuvvetin büyüklüğüne (F), kuvvet kolunun uzunluğuna (d) ve aralarındaki açının (α) büyüklüğüne bağlıdır ve $\tau = F \cdot d \cdot \sin\alpha$ bağıntısı ile bulunur.

$\sin\alpha$'nın en büyük değeri 1'dir. $\sin 90° = 1$ olduğu için uygulanan kuvvetin, kuvvet koluna dik olduğu durumda tork en büyük değerini alır.

Sorunun çözümünde kuvvetin durumuna göre tercih yapılabilir. Bazı sorularda 1. yöntemde olduğu gibi uygulanan kuvveti bileşenlerine ayırmak kolaylık sağlarken bazı sorularda kuvvetin uygulanma noktasının dönme eksenine olan dik uzaklığını bulmak daha pratik olabilir.

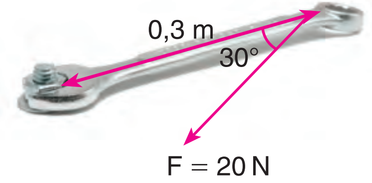
Tork, vektörel bir büyüklük olduğu için yönü de vardır. Görsel 1.122'deki usta anahtara $\vec{F}$ kuvveti uygulayarak cıvatayı ok yönünde döndürmektedir. $\vec{d}$ ile gösterilen konum vektörü, dönme noktasından kuvvetin uygulandığı noktaya çizilen vektördür. Görselde görüldüğü gibi $\vec{\tau}$ vektörünün yönü uygulanan kuvvetin yönü veya cismin dönme yönü ile aynı değildir.

Tork vektörünün yönü **sağ el kuralı** ile bulunur. Yandaki şekildeki gibi sağ elin başparmağı, diğer dört parmağa dik olacak şekilde tutulur. Sağ elin avuç içi dönme noktasını gösterirken dört parmak kuvvet vektörünün yönünü gösterecek şekilde tutulur. Bu durumda baş parmağın yönü tork vektörünün yönünü gösterir. $\vec{\tau}$ vektörünün yönü anahtarla döndürülen cıvatanın ilerleme yönü olarak da ifade edilebilir.

1.8.3. Tork ile İgili Hesaplamalar

ÖRNEK 67

Şekildeki anahtara $\vec{F}$ kuvveti uygulanarak cıvata sıkılıyor. F kuvvetinin oluşturduğu tork büyüklüğü nedir? (sin30°= 0,5)



ÇÖZÜM

F kuvvetinin oluşturduğu tork büyüklüğü,

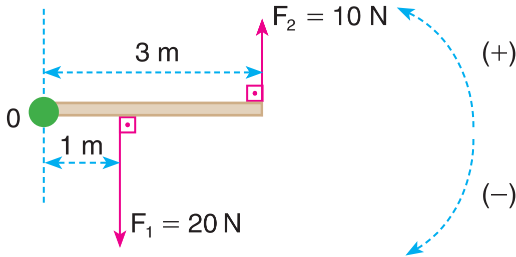
$\tau = F \cdot d \cdot \sin\alpha$

$\tau = 20 \cdot 0,3 \cdot \sin 30°$

$\tau = 20 \cdot 0,3 \cdot \frac{1}{2}$ ise $\tau = 3\,N \cdot m$ olur.

ÖRNEK 68

O noktasından geçen dik eksen etrafında dönebilen 3 m boyundaki çubuğa büyüklükleri 10 N ve 20 N olan iki kuvvet şekildeki gibi uygulanmıştır. Kuvvetlerin momentleri (tork) toplamı kaç N.m olur? (Çubuğun ağırlığı önemsizdir.)



ÇÖZÜM

Çubuğa iki kuvvet uygulandığı için toplam tork, bu iki kuvvetin torklarının toplamına eşit olacaktır. $\vec{F}_1$ kuvveti saat ibresinin yönünde uygulandığı için oluşturduğu torkun işareti "–", $\vec{F}_2$ kuvveti saat ibresinin tersi yönünde uygulandığı için oluşturduğu torkun işareti "+" olur.

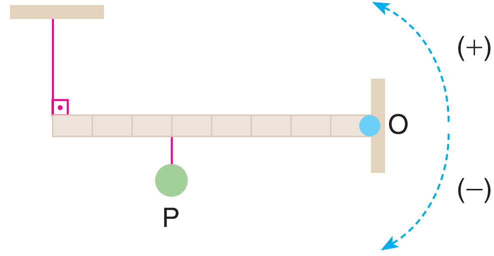
Kuvvetler aynı zamanda kuvvet koluna dik olduğu için toplam tork,

$\Sigma\tau = -F_1 \cdot d_1 + F_2 \cdot d_2$ yazılabilir.

$\Sigma\tau = -20 \cdot 1 + 10 \cdot 3 = +10$ N.m bulunur.

ÖRNEK 69

O noktası etrafında dönebilen ağırlığı önemsiz çubuk, 20 N ağırlığında bir P yükü ve bir ip yardımı ile şekildeki gibi durmaktadır. İpte oluşan gerilme kuvvetinin büyüklüğü kaç N'dır? (Çubuk eşit bölmelidir.)



ÇÖZÜM

P yükü çubuğu artı "+" yönde döndürmeye çalışırken ipte bir gerilme meydana gelir ve çubuğun dönmesine engel olur. Çubuk dönmediğine göre P yükünün ve T ip gerilmesinin oluşturdukları torkların büyüklükleri birbirine eşittir. Bu eşitlikten,

$$\tau_p = \tau_T$$

$$P \cdot 5 = T \cdot 8$$

$20 \cdot 5 = T \cdot 8$ ve ipteki gerilme kuvveti $T = 12{,}5$ N bulunur.



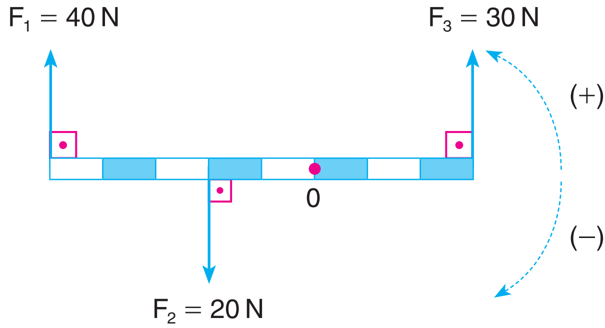
Sıra Sizde 1.47



Ağırlığı önemsiz eşit bölmeli çubuğun ucuna bağlanan ip en fazla 60 N gerilmeye dayanabiliyor. Buna göre 80 N'lık yük O noktasından en fazla kaç bölüm uzaklığa asılabilir?

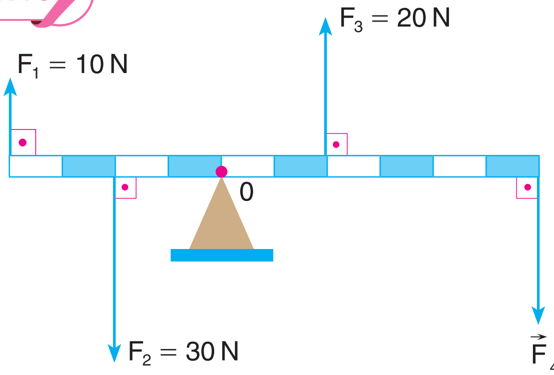


Sıra Sizde 1.48



Şekildeki eşit bölmeli ağırlıksız çubuk O noktası etrafında dönebilmektedir. Bu çubuğa üç kuvvet şekildeki gibi uygulandığında oluşan torku ve çubuğun dönme yönünü bulunuz.

ÖRNEK 70



Desteğe O noktasından bir mil yardımı ile takılan ağırlığı önemsiz eşit bölmeli çubuk şekildeki dört kuvvetin etkisinde dönmeden durabiliyor. $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$ ve $\vec{F}_3$ kuvvetlerinin büyüklükleri sırasıyla 10 N, 30 N ve 20 N olduğuna göre $\vec{F}_4$ kuvvetinin büyüklüğünü bulunuz.

ÇÖZÜM

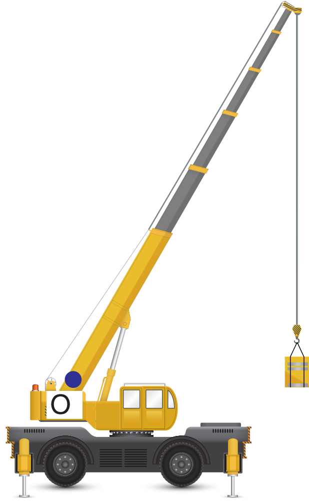
Öncelikle hangi kuvvetin çubuğu hangi yönde döndürdüğü tespit edilir. Saat ibresinin dönme yönünün eksi, olduğu düşünülürse $\vec{F}_1$ ve $\vec{F}_4$ kuvvetlerinin eksi, $\vec{F}_3$ ve $\vec{F}_2$ kuvvetlerinin artı yönde çubuğu döndürdükleri söylenebilir.

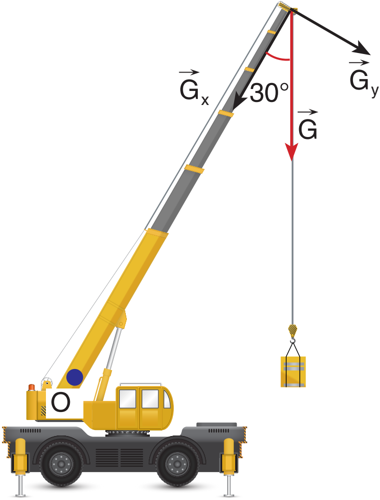
Çubuk dönmediğine göre artı ve eksi yönde oluşan torkların büyüklükleri birbirine eşittir. Bu eşitlikten,

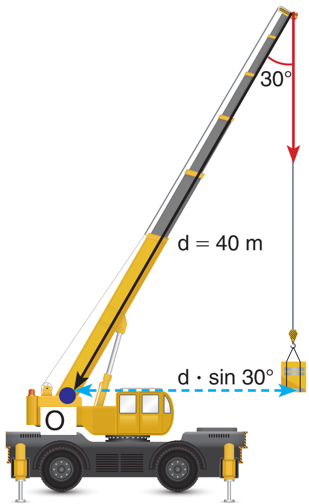
$$\tau_1 + \tau_4 = \tau_2 + \tau_3$$

$$F_1 \cdot d_1 + F_4 \cdot d_4 = F_2 \cdot d_2 + F_3 \cdot d_3$$

$10 \cdot 4 + F_4 \cdot 6 = 30 \,.\, 2 + 20 \cdot 2$ ise $F_4 = 10$ N bulunur.







ÖRNEK 71

Görselde 40 m uzunluğundaki vinç kolu ile 30°lik açı yapan 700 N ağırlığındaki bir yük vinçle kaldırılmaktadır. Vinç kolu üzerindeki O noktasından geçen eksene göre yük tarafından uygulanan torku bulunuz. (sin30° = 0,5)

ÇÖZÜM

Sorunun çözümünde, kuvvetin kuvvet koluna dik olmadığı durumlarda kullanılan her iki yöntem de kullanılabilir.

1. yöntemde torku oluşturan kuvvet yükün ağırlığıdır. Ağırlık görseldeki gibi bileşenlerine ayrıldığında, $\vec{G}_x$ bileşeninin uzantısı O dönme noktasından geçeceği için torku 0 (sıfır) olur.

$\vec{G}_y$ bileşenin büyüklüğü,

$G_y = G \cdot \sin 30°$

$G_y = 700 \cdot 0,5 = 350$ N olur.

Oluşan torkun büyüklüğü,

$\tau = G_y \cdot d$

$\tau = 350 \cdot 40 = 14000$ N.m bulunur.

2. yöntemde görseldeki gibi F kuvvetinin doğrultusuna, O dönme noktasından bir dik çizilir. Kuvvet koluna olan dik uzaklık,

$d \cdot \sin 30° = 40 \,.\, 0,5 = 20$ m bulunur.

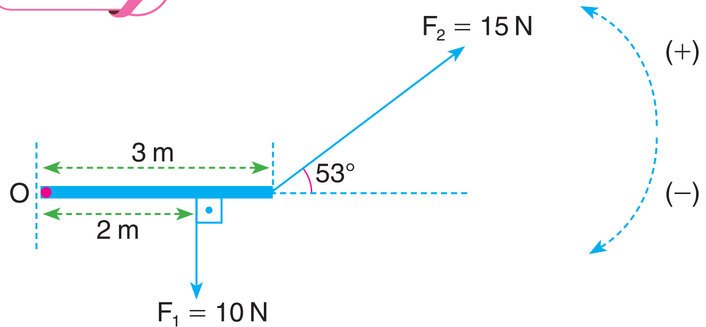
Tork bağıntımızı yazarsak

$\tau = F \cdot (d \cdot \sin\alpha)$

$\tau = 700 \cdot 20$

$\tau = 14000$ N.m bulunur.

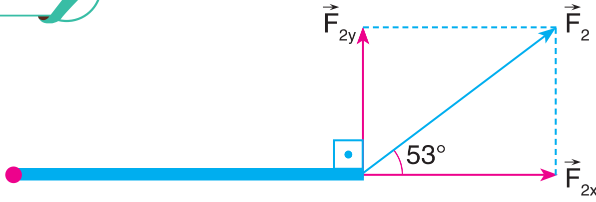
ÖRNEK 72



Uzunluğu 3 m olan ve O noktası etrafında dönebilen ağırlıksız çubuğa $\vec{F}_1$ ve $\vec{F}_2$ kuvvetleri şekildeki gibi uygulanıyor. Oluşan torkun büyüklüğünü ve çubuğun dönme yönünü bulunuz.

$(\sin 53° = 0,8)$

ÇÖZÜM



$\vec{F}_1$ kuvvetinin oluşturduğu tork büyüklüğü,

$\tau_1 = F_1 \cdot d_1$

$\tau_1 = 10 \cdot 2 = 20\,N \cdot m$ olur ve eksi yöndedir. $\vec{F}_2$ kuvveti, kuvvet koluna dik olmadığı için bileşenlerine ayrılır. $\vec{F}_{2x}$ bileşeninin uzantısı dönme noktasından geçtiği için tork oluşturmaz. $\vec{F}_{2y}$ bileşeninin büyüklüğü,

$F_{2y} = F_2 \cdot \sin 53°$

$F_{2y} = 15 \cdot 0,8 = 12\,N$ olur.

$\vec{F}_{2y}$ bileşeninin oluşturduğu tork büyüklüğü,

$\tau_2 = F_{2y} \cdot d_2$

$\tau_2 = 12 \cdot 3 = 36\,N \cdot m$ olur ve artı yöndedir.

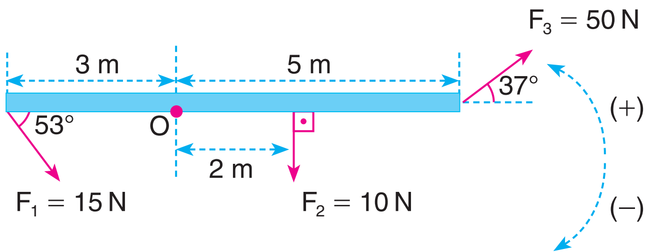
Buna göre oluşan toplam tork büyüklüğü,

$\Sigma\tau = \tau_1 + \tau_2$

$\Sigma\tau = -20 + 36 = +16\,N \cdot m$ olur. Sonucun artı işaretli olması, çubuğun artı yönde döndüğünü ifade eder.



Sıra Sizde 1.49



O noktası etrafında dönebilen çubuğa üç kuvvet şekildeki gibi uygulanmaktadır. Oluşan toplam torku ve çubuğun dönme yönünü bulunuz.

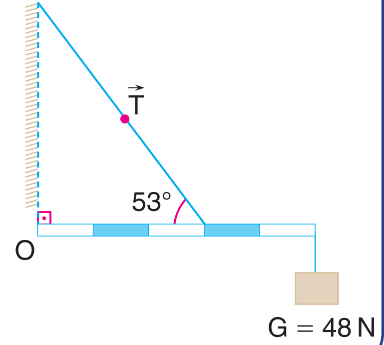
(Çubuğun ağırlığı önemsenmiyor. sin37° = 0,6; sin53° = 0,8)

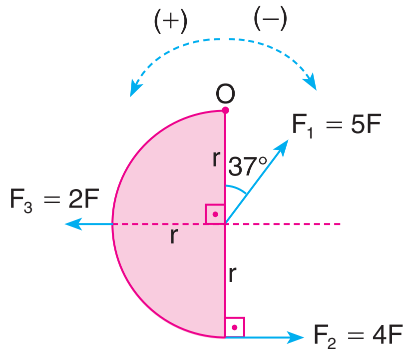


Sıra Sizde 1.50

Ağırlığı önemsiz, eşit bölmeli çubuk O noktası etrafında dönebilmektedir. Çubuğun ucuna 48 N ağırlığındaki cisim asıldıktan sonra şekildeki gibi bir iple duvara bağlanarak denge sağlanıyor. İpte oluşan gerilmeyi bulunuz.

($\sin 53° = 0{,}8$)





ÖRNEK 73

O noktasından geçen dik eksen etrafında serbestçe dönebilen sürtünmesiz yatay düzlemdeki levhaya $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$ ve $\vec{F}_3$ kuvvetleri şekildeki gibi etki ediyor. Levha O noktasından geçen eksen etrafında kaç Fr'lik tork ile hangi yönde döner?

($\sin 37° = 0{,}6$)

ÇÖZÜM

Levhayı $\vec{F}_1$ ve $\vec{F}_2$ kuvvetleri "+" yönde, $\vec{F}_3$ kuvveti ise "–" döndürür.

$\vec{F}_1$ kuvvetinin oluşturduğu tork büyüklüğü,

$\tau_1 = F_1 \cdot d_1 \cdot \sin\alpha$

$\tau_1 = 5F \cdot r \cdot \sin 37°$

$\tau_1 = 5F \cdot r \cdot 0{,}6$ ise $\tau_1 = +3Fr$ olur.

$\vec{F}_2$ kuvvetinin oluşturduğu tork büyüklüğü,

$\tau_2 = F_2 \cdot d_2$

$\tau_2 = 4F \cdot 2r$ ise $\tau_2 = +8Fr$ olur.

$\vec{F}_3$ kuvvetinin oluşturduğu tork büyüklüğü,

$\tau_3 = F_3 \cdot d_3$

$\tau_3 = 2F \cdot r$ ise $\tau_3 = -2Fr$ olur.

$\Sigma\tau = \tau_1 + \tau_2 + \tau_3$

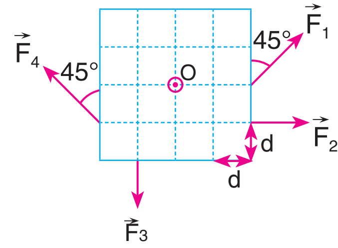
$\Sigma\tau = +3F \cdot r + 8F \cdot r - 2Fr$

$\Sigma\tau = +9Fr$ olur.

Levha 9Fr büyüklüğünde bir torkla "+" yönde döner.

ÖRNEK 74

O noktasından geçen dik eksen etrafında serbestçe dönebilen levhaya eşit büyüklükteki $\vec{F}_1, \vec{F}_2, \vec{F}_3$ ve $\vec{F}_4$ kuvvetleri şekildeki gibi uygulandığında oluşturdukları tork büyüklükleri τ_1, τ_2, τ_3 ve τ_4 dir.

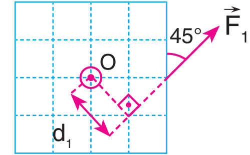


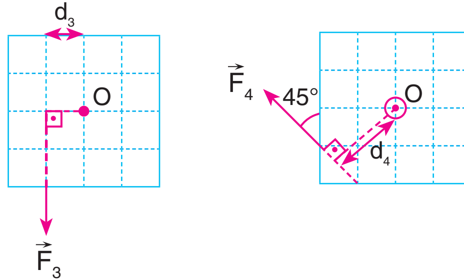
Buna göre bu tork değerleri arasındaki ilişki nedir?

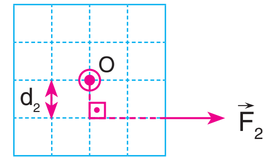
$\left(\sin 45^\circ = \frac{\sqrt{2}}{2}\right)$

ÇÖZÜM

Kuvvetin dönme noktasına olan dik uzaklığı, 2. yöntemdeki gibi bulunabilir. Önce her kuvvetin doğrultuları, sonra bu doğrultulara dönme noktasından geçecek biçimde dikmeler çizilir. Bu dikmeler şekillerde her bir kuvvet için gösterilmiştir.







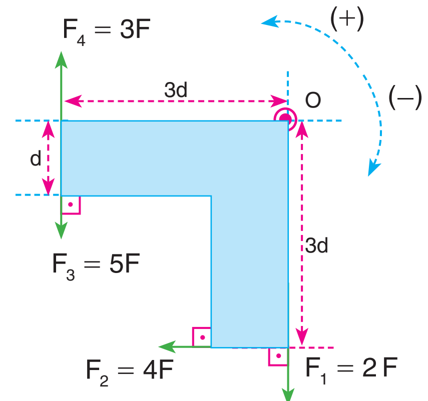
Kuvvetler eşit büyüklükte olduğundan dönme noktasına dik uzaklığı en büyük olan kuvvetin torku en büyük olacaktır.

Kuvvetlerin dönme noktasına olan dik uzaklıkları arasındaki ilişki $d_4 > d_1 > d_2 = d_3$ olduğundan oluşturdukları torklar arasındaki ilişki de $\tau_4 > \tau_1 > \tau_2 = \tau_3$ olur.

Sıra Sizde 1.51

Yatay düzlemde, O noktası etrafında dönebilen levhaya şekildeki gibi $\vec{F}_1, \vec{F}_2, \vec{F}_3$ ve $\vec{F}_4$ kuvvetleri etki ediyor. Levha hangi yönde, kaç Fd'lik torkla döner?

(Sürtünmeler ihmal ediliyor.)





1. ÜNİTE: 8. BÖLÜM DEĞERLENDİRME SORULARI

A. Aşağıdaki cümlelerde boş bırakılan yerleri uygun kelimeleri kullanarak tamamlayınız.

N · m	uzaklık	vektörel
bileşen	tork	dönme

1. Kuvvetin döndürme etkisine .... denir.
2. Tork .... bir büyüklüktür.
3. Uzantısı .... noktasından geçen kuvvet tork oluşturmaz.
4. Torkun SI birim sisteminde birimi .... 'dir.
5. Kuvvet koluna dik olmayan kuvvet .... ayrılarak tork hesaplanabilir.

B. Aşağıdaki cümlelerin başına doğru ise "D", yanlış ise "Y" yazınız.

1. (   ) Kuvvet kolunun uzunluğu artarsa tork azalır.

2. (   ) Tahtaya saplanmış çiviyi çekiçle çıkarmak torka örnek verilemez.

3. (   ) Vitesli bisikletlerin çalışma prensibi tork ile açıklanabilir.

4. (   ) Her kuvvet tork oluşturabilir.

5. (   ) Kapı kollarının kapı menteşelerinden en uzak noktaya takılması sayesinde kapılar daha az kuvvetle açılıp kapatılabilir.

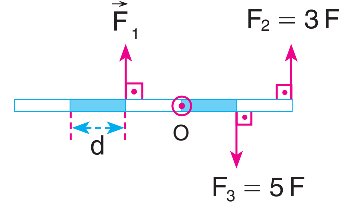
C. Aşağıdaki soruları cevaplayınız.

1. Günlük hayatınızda kullandığınız basit aletlerin hangilerinde torktan yararlanıyorsunuz? Açıklayınız.
2. Kuvvet etki eden bir cisim her zaman döner mi? Açıklayınız.
3. Bir cisme birden fazla kuvvet uygulandığında, cismin hangi yönde döneceğini nasıl bulursunuz?
4. Bir cismin dönme yönü ile tork vektörünün yönü aynı mıdır? Açıklayınız.
5. Anahtara $\vec{F}$ kuvveti görseldeki gibi uygulanılarak cıvata döndürülüyor. Bu durumda uygulanan kuvvet vektörünün, konum vektörünün ve oluşan tork vektörünün yönlerini tartışınız.



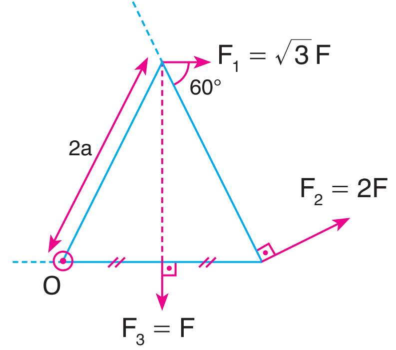
Ç. Aşağıdaki problemleri çözünüz.

1. Ağırlığı önemsenmeyen eşit bölmeli çubuk O noktasından geçen dik eksen etrafında dönebilmektedir. Çubuğa şekildeki gibi $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$ ve $\vec{F}_3$ kuvvetleri uygulandığında çubuk dönmüyor. Buna göre $\vec{F}_1$ kuvvetinin büyüklüğü kaç F'dir?

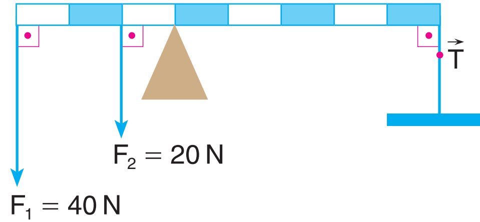


2. Eşkenar üçgen şeklindeki ağırlığı önemsenmeyen levha yatay sürtünmesiz düzlem üzerinde O noktası etrafında dönebilmektedir. Levhaya şekildeki gibi $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$ ve $\vec{F}_3$ kuvvetleri uygulandığında oluşan toplam tork kaç Fa kadardır?

$\left(\sin 60^\circ = \frac{\sqrt{3}}{2}; \sin 30^\circ = 0,5\right)$



3. Ağırlığı önemsiz eşit bölmeli çubuğa büyüklükleri 40 N ve 20 N olan iki kuvvet şekildeki gibi etki ediyor. İpte oluşan gerilme kuvvetini bulunuz.

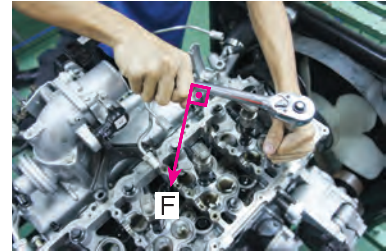


4. Görselde bir tamirci uygun anahtarla cıvatayı döndürüyor. Bu durumda aşağıdaki ifadelerden hangileri doğrudur?

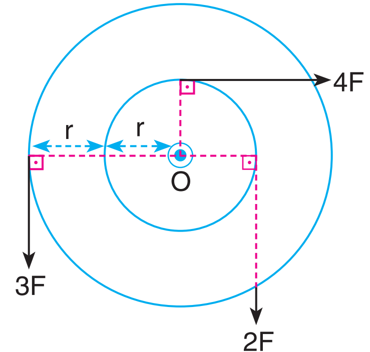
I. Uygulanan kuvvet vektörü ile tork vektörü birbirine diktir.

II. Uygulanan kuvvetin oluşturduğu tork değeri en büyük değerdir.

III. Tork vektörünün yönü cıvatanın ilerlemesi yönündedir.

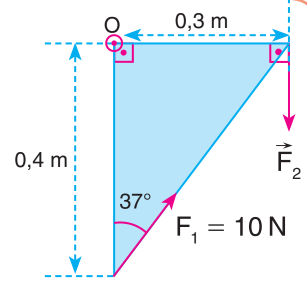


5. Sürtünmesiz yatay düzlem üzerinde, O noktası etrafında dönebilen levhaya 2F, 3F ve 4F büyüklüğünde kuvvetler şekildeki gibi uygulanıyor. Kuvvetlerin O noktasına göre oluşturduğu bileşke tork kaç Fr olur?



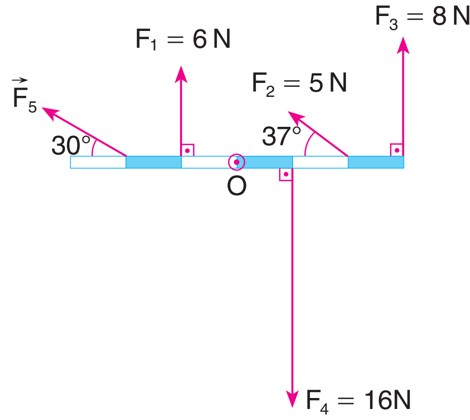
D. Aşağıdaki test sorularını çözünüz.

1. Şekildeki levha sürtünmesiz yatay düzlem üzerinde O noktası etrafında serbestçe dönebilmektedir. Levhaya uygulanan $\vec{F}_1$ ve $\vec{F}_2$ kuvvetlerinin oluşturduğu toplam tork 3 N.m olduğuna göre $\vec{F}_2$ kuvvetinin büyüklüğü kaç N'dır? $(\sin 37° = 0,6)$



A) 8 **B)** 12 **C)** 13 **D)** 15 **E)** 18

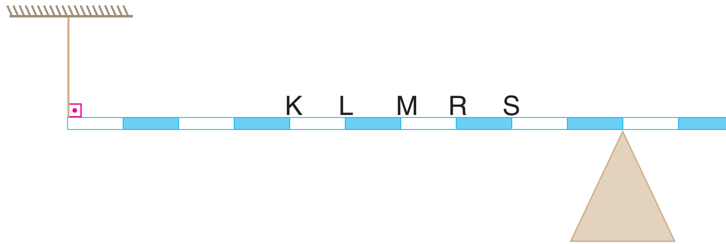
2.



O noktasından geçen dik eksen etrafında serbestçe dönebilen ağırlığı önemsiz eşit bölmeli çubuğa şekildeki kuvvetler uygulandığında çubuk dönmüyor. Buna göre $\vec{F}_5$ kuvvetinin büyüklüğü kaç N'dır? (sin37° = 0,6; sin30° = 0,5)

A) 4 **B)** 6 **C)** 8 **D)** 16 **E)** 18

3.



Eşit bölmeli homojen türdeş çubuğun ağırlığı G kadar olup esnemeyen ip ve destek ile şekildeki gibi dengededir. İp en fazla G büyüklüğündeki gerilmeye dayanabildiğine göre 2G ağırlığındaki bir yük destekten en uzak olacak biçimde nereye konulabilir?

A) K **B)** L **C)** LM arası **D)** R **E)** RS arası

1.9. DENGE VE DENGE ŞARTLARI

Bu bölümde;

- Cisimlerin dengede olma durumlarını,
- Kuvvetlerin dengesi ile ilgili problemler kurmayı ve bu problemleri çözmeyi,
- Kütle ve ağırlık merkezini bulmayı ve aralarındaki farkları öğreneceğiz.

Kavramlar

- Denge, tork ve kuvvet dengesi
- Kütle ve ağırlık merkezi

SİRKTEKİ GÖSTERİ

Betül, hafta sonunda bir sirk gösterisine gitmişti. Sirkte oldukça değişik gösteriler vardı. En çok ilgisini çeken iki şey vardı. Biri sirkin önünde tek tekerlekli bisiklet kullanan palyaço (Görsel 1.123), diğeri gerilmiş ip üzerinde yürüyen cambazdı (Görsel 1.124). Hâlbuki kendisi paten ve kaykay sürmeyi oldukça iyi biliyordu. Paten ve kaykay üzerinde dengesini bulmayı zor da olsa öğrenmişti. Ancak palyaçonun ve cambazın yaptığı denge gösterisi çok daha zordu.

Kendisinin de ip üzerinde denge kurup yürüyebileceğini düşündü. Ertesi gün ilk işi ailesiyle birlikte gittiği piknikte ağaçların arasına ip gerip bu fikrini gerçekleştirmek oldu (Görsel 1.125).



Görsel 1.123 *Palyaço, tek tekerlekli bisikletle dengesini sağlayarak ilerliyor.*



Görsel 1.124 *Cambazın, gerilmiş bir ip üzerinde düşmeden yürüyebilmesi için iyi bir denge kurması gerekir.*



Görsel 1.125 *İp üzerinde yürümek için dengeyi iyi kurmak gerekir. Betül dengeyi sağlamak için kollarını iki yana açmış.*

1.9.1. Cisimlerin Denge Şartları


Görsel 1.126 *Sabit hızla giden asansörün üzerine uygulanan kuvvetlerin toplamı sıfırdır.*

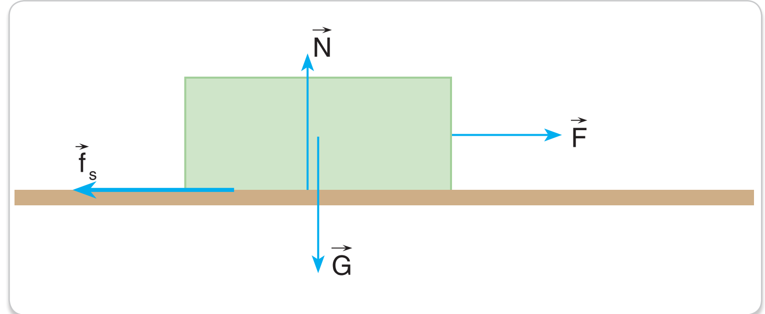

Görsel 1.127 *Sabit hızla giden trendeki yolcu dengededir.*


Görsel 1.128 *Sabit hızla dönen dönme dolap dengedir.*

9. sınıfta bir cismin dengede olması için üzerine uygulanan net kuvvetin sıfır olması gerektiğini, dengedeki bir cismin ise durduğunu ya da sabit hızla hareket ettiğini öğrenmiştiniz. Görsel 1.126'daki gibi sabit hızla giden asansörler, Görsel 1.127'deki sabit hızla giden trendeki yolcu dengededir. Ancak dengedeki cisimler sadece öteleme hareketi yapmazlar. Bir önceki bölümde öğrendiğiniz gibi cisimler kuvvet etkisinde dönme hareketi de yapabilirler. Görsel 1.128'deki gibi sabit hızla dönen bir dönme dolap da dengededir. Öyleyse denge durumundaki cisimler üç durumda olabilir. Durabilir, sabit hızla öteleme ya da sabit hızla dönme hareketi yapabilir. O hâlde bir cismin dengede olabilmesi için iki şart vardır. Cismin üzerine etki eden net kuvvet ve net tork sıfır olmalıdır. Şimdi bu iki şartı inceleyelim.

1. Şart: $\Sigma\vec{F} = 0$ olmalıdır.

Bileşke kuvvetin $\vec{R}$ ile gösterildiğini anımsarsak bu şartı R = 0 şeklinde yazabiliriz. Toplam kuvvetin sıfır olması için x ekseni üzerindeki toplam kuvvetlerin ve y ekseni üzerindeki toplam kuvvetlerin de sıfır olması gerekir. Yani $\Sigma\vec{F}_x = 0$ ve $\Sigma\vec{F}_y = 0$ olmalıdır. Bu şartı Şekil 1.71'deki cisim üzerinde inceleyelim.



Şekil 1.71 *Yatay sürtünmeli bir zemin üzerindeki cisme etki eden kuvvetlerin bileşkesi sıfır ise cisim dengededir.*

Cisim dört kuvvetin etkisinde duruyor veya sabit hızla hareket ediyorsa

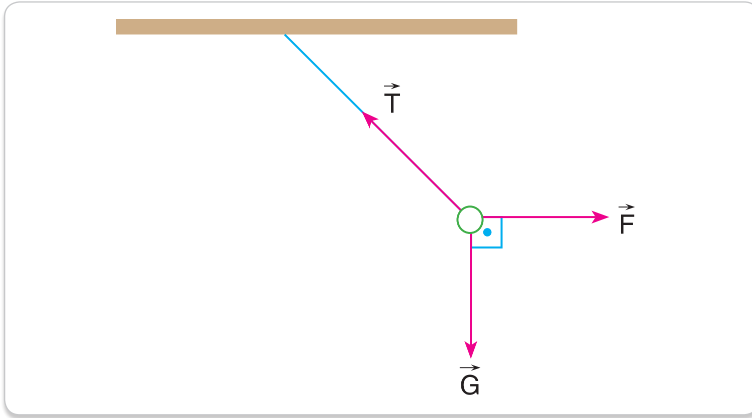
$\vec{R} = \vec{F} + \vec{f}_s + \vec{G} + \vec{N} = 0$'dır.

x ekseni üzerindeki kuvvetlerin bileşkesi,

$\Sigma\vec{F}_x = \vec{F} + \vec{f}_s = 0$ ise $F = f_s$ olur.

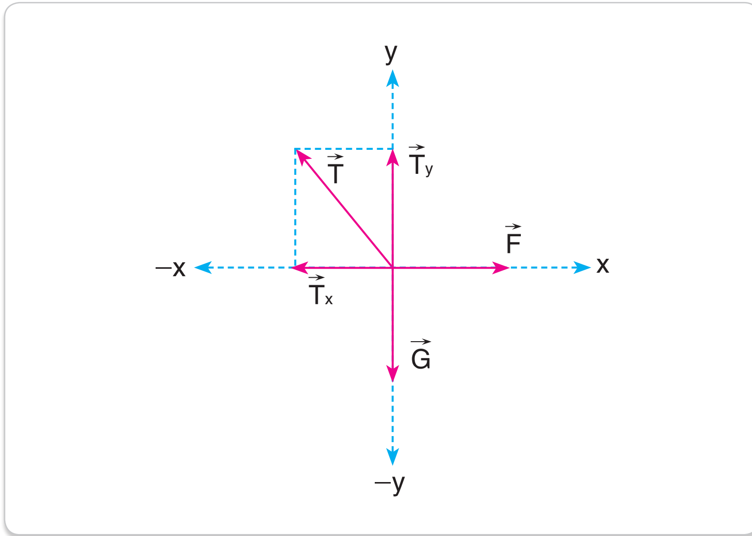
y ekseni üzerindeki kuvvetlerin bileşkesi,

$\Sigma\vec{F}_y = \vec{G} + \vec{N} = 0$ ise $G = N$ olur.



Şekil 1.72 *Tavana iple bağlanmış top, üç kuvvetin etkisinde dengededir.*

Aynı noktaya uygulanan iki kuvvet dengede ise bu iki kuvvet eşit büyüklükte fakat zıt yöndedir. Aynı noktaya üç kuvvet uygulanarak denge sağlandığı durumlarda bileşenlerine ayırma yöntemi ya da **Lâmi Teoremi** (Steven Bağıntısı) kullanılır.

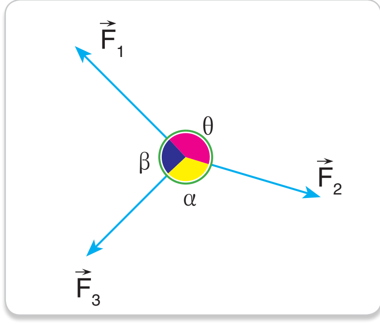


Şekil 1.73 *İpteki gerilme kuvvetinin bileşenlerine ayrılarak topun denge durumunun analiz edilmesi*

İple tavana bağlı topa yatay bir $\vec{F}$ kuvveti uygulayalım. Topun yeni denge durumu Şekil 1.72'deki gibidir. Bu durumda $\vec{F} + \vec{G} + \vec{T} = 0$ olur. $\vec{F}$ ve $\vec{G}$ kuvvetleri x – y koordinat sistemi üzerindedir. İpte oluşan $\vec{T}$ gerilme kuvveti Şekil 1.173'teki gibi bileşenlerine ayrılırsa

$\vec{F} + \vec{T}_x = 0$ ve $F = T_x$

$\vec{G} + \vec{T}_y = 0$ ve $G = T_y$ eşitlikleri elde edilir.



Şekil 1.74 *Kesişen 3 kuvvetin denge durumu için Lâmi Teoremi kullanılabilir.*



Görsel 1.129 *Cisimlerin ağırlıklarının oluşturdukları torklar eşit büyüklükte ise terazi dengededir.*

Şekil 1.74'teki gibi kesişen üç kuvvetin dengesi için Lâmi Teoremi,

$$\frac{F_1}{\sin\alpha} = \frac{F_2}{\sin\beta} = \frac{F_3}{\sin\theta}$$ olarak ifade edilir.

Kesişen bu üç kuvvetin dengesi için $\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 = 0$ yazılır ve kuvvetlerden biri eşitliğin diğer tarafına alınırsa $\vec{F}_2 + \vec{F}_3 = -\vec{F}_1$ şeklinde bir eşitlik elde edilir. Yani herhangi iki kuvvetin bileşkesi üçüncü kuvvete eşit büyüklükte ve zıt yönde olur. Aynı zamanda küçük açının karşısında büyük kuvvet, büyük açının karşısında küçük kuvvet bulunur. Şekil 1.74 için açılar arasında $\theta > \beta > \alpha$ ilişkisi varsa kuvvetlerin büyüklükleri arasında $F_1 > F_2 > F_3$ ilişkisi vardır.

2. Şart: $\sum \vec{\tau} = 0$ olmalıdır.

Eşit kollu terazi ile kütle ölçümü sırasında terazi kolunun Görsel 1.129'daki gibi yere paralel olması, kefelere konulan cisimlerin kütlelerinin eşit olması anlamına gelir. Bu kütleler, çekim kuvveti (ağırlık) ile terazinin kolları üzerinde bir tork oluşturur. Her iki kütlenin oluşturduğu tork eşit büyüklükte fakat zıt yönde olduğu için kol dönmez. Yani eşit kollu terazi hem kuvvet dengesinde hem de tork dengesindedir.

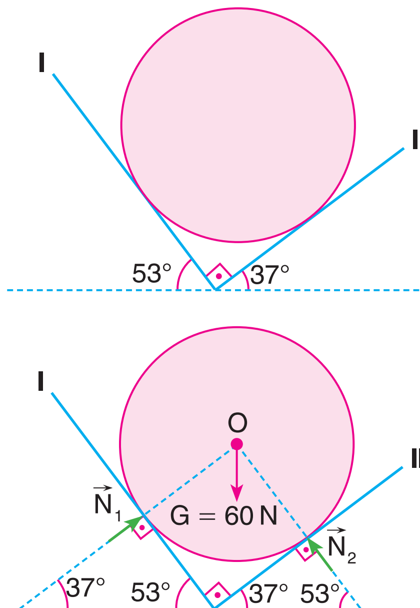
Tork dengesini

http://phet.colorado.edu/tr/simulation/balancing-act adresindeki animasyondan görsel olarak öğrenebilirsiniz.

ÖRNEK 75

60 N ağırlığındaki küre iki duvar arasında şekildeki gibi dengededir. I. duvarın küreye uyguladığı tepki kuvveti $\vec{N}_1$ ve II. duvarın küreye uyguladığı tepki kuvveti $\vec{N}_2$ kaç N'dır?

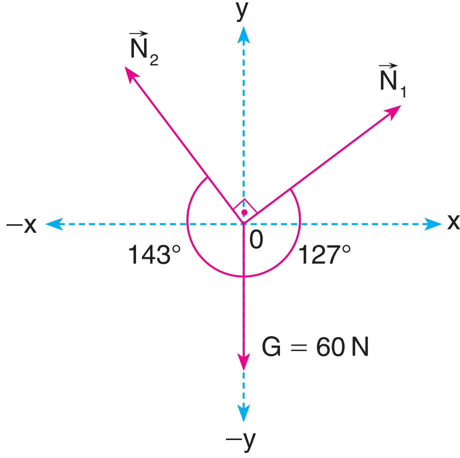
(sin 53° = 0,8; sin 37° = 0,6)



ÇÖZÜM

Küre duvarlar arasında dengede olduğuna göre üzerine etki eden kuvvetlerin toplamı sıfır olmalıdır. Küreye etki eden I. duvarın tepki kuvveti $(\vec{N}_1)$, II. duvarın tepki kuvveti $(\vec{N}_2)$ ve ağırlık $(\vec{G})$ olmak üzere üç kuvvet vardır. Cisim küresel olduğu için duvarlara temas eden noktalarda oluşan tepki kuvvetlerinin uzantıları kürenin merkezinden geçer.

Üç kuvvet kürenin merkezinde olacak şekilde çizilir ve Lâmi Teoremi kullanılırsa



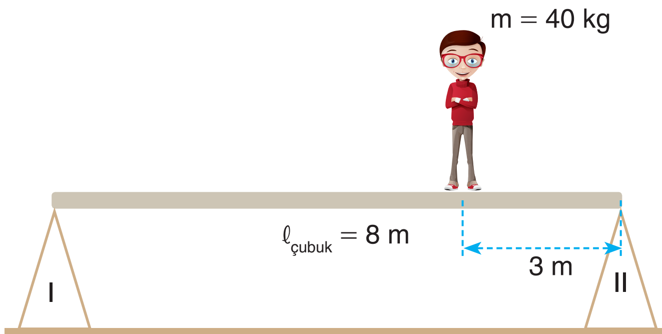
$$\frac{G}{\sin 90^\circ} = \frac{N_1}{\sin 143^\circ} = \frac{N_2}{\sin 127^\circ}$$

$\dfrac{60}{1} = \dfrac{N_1}{0,6} = \dfrac{N_2}{0,8}$ olur.

Bu eşitliklerden,

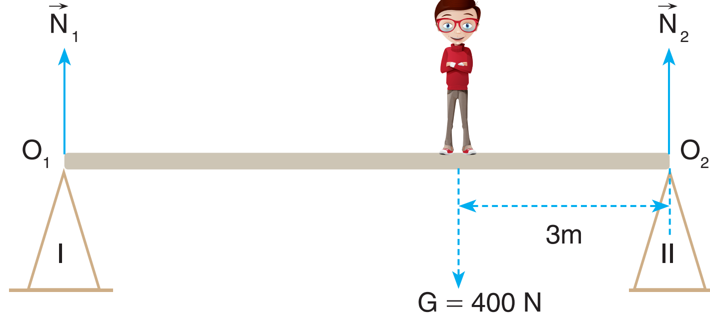
$N_1 = 36$ N ve $N_2 = 48$ N bulunur.

ÖRNEK 76



40 kg kütleli bir çocuk, 8 m uzunluğunda ve iki destek üzerinde bulunan çubuk şekildeki gibi dengededir. I. desteğin çubuğa uyguladığı tepki kuvveti $\vec{N}_1$, II. desteğin çubuğa uyguladığı tepki kuvveti $\vec{N}_2$ ise bu tepki kuvvetlerinin büyüklüklerini bulunuz. (g = 10 N/kg ve çubuğun ağırlığı önemsizdir.)

ÇÖZÜM



Desteklerden biri olmasaydı çubuk dönerek yere düşerdi. O hâlde bu sistemde hem kuvvet hem de tork dengesi aranmalıdır. Sistem üzerindeki kuvvetler çizilip O_1 noktasına göre tork dengesi yazılırsa $\vec{N}_1$ kuvvetinin oluşturduğu tork sıfır olur. Bu durumda ağırlığın ve $\vec{N}_2$ tepki kuvvetinin oluşturdukları torklar eşit büyüklükte ve zıt yönlüdür. Buna göre

$\tau_G = \tau_{N_2}$

$G \cdot 5 = N_2 \cdot 8$

$400 \cdot 5 = N_2 \cdot 8$ ve $N_2 = 250$ N olur.

$\vec{N}_1$ tepki kuvveti benzer bir yol takip edilerek bulunur. O_2 noktasına göre tork dengesi yazılırsa

$\tau_G = \tau_{N_1}$

$G \cdot 3 = N_1 \cdot 8$

$400 \cdot 3 = N_1 \cdot 8$ ve $N_1 = 150$ N bulunur.

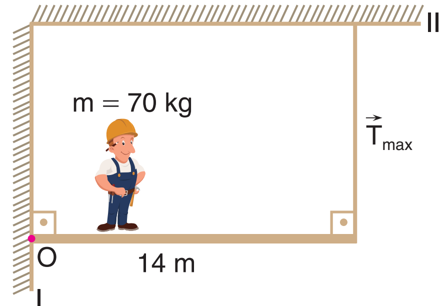
Tepki kuvvetlerinden biri bulunduktan sonra diğerini bulmak için kuvvet dengesi de kullanılabilir. $N_2 = 250$ N bulunduktan sonra $G = N_1 + N_2$

$400 = N_1 + 250$ ve $N_1 = 150$ N bulunur.



Sıra Sizde 1.52

70 kg kütleli bir işçi, 14 m uzunluğunda, ağırlığı önemsenmeyen çubuğu ve en fazla 300 N gerilmeye dayanabilen bir ipi kullanarak şekildeki sistemi oluşturuyor. Çubuk O noktası etrafında serbestçe dönebildiğine göre işçi O noktasından en fazla kaç m ileriye güvenli biçimde gidebilir? (g = 10 N/kg alınız. İpin esneme miktarı önemsizdir.)



1.9.2. Kütle Merkezi ve Ağırlık Merkezi

Görsel 1.130'daki gibi ip üzerinde yürümek neden zordur? Ya da dengeyi sağlamak için neden uzun bir çubuk kullanılır?

Günlük hayatta karşılaştığımız buna benzer tüm soruların cevapları kütle ve ağırlık merkezi ile ilgilidir. Cisimler küçük parçalardan meydana gelir. Cismi meydana getiren bu parçaların ağırlıklarının toplandığı varsayılan noktaya cismin **ağırlık merkezi** denir. Yer çekimi kuvveti yerin merkezine doğru olduğundan, parçaların ağırlıkları birbirine paraleldir. Diğer bir deyişle ağırlık merkezi, bu ağırlıkların bileşkesinin olduğu düşünülen noktadır.

Kütle merkezi ise cismin tüm kütlesinin toplanmış olduğu düşünülen noktadır. Yer çekimi ivmesi cismin her noktasında aynı değerde yani sabitse ağırlık merkezi ile kütle merkezi aynı noktada olur. Yer çekimi ivmesi Dünya'nın merkezinden uzaklaştıkça azalır. Bu nedenle yüksek katlı gökdelenlerin zeminlerindeki yer çekimi ivmesi ile çatısındaki yer çekimi ivmesinin büyüklükleri farklıdır. Bu nedenle ağırlık merkezi ile kütle merkezi çakışık değildir (Görsel 1.131).



Görsel 1.130 *Çubuk kullanarak ip üzerinde denge sağlanabilir.*



Görsel 1.131 *Petronas Kulelerinin kütle merkezi ile ağırlık merkezi aynı noktada değildir.*

Yer çekiminin olmadığı bir yerde ağırlıktan veya ağırlık merkezinden bahsedilmez. Kütle ise yer çekiminden bağımsız olduğu için yer çekimi olmayan bir ortamda da kütle merkezi kavramı kullanılabilir.

x-y koordinat sisteminde bulunan M kütleli bir cismin m_1, m_2 ve m_3 kütleli parçalardan oluştuğunu düşünelim (Şekil 1.75). Bu parçaların ağırlıkları $\vec{G}_1$, $\vec{G}_2$ ve $\vec{G}_3$ ise cismin ağırlığı,

$\vec{G} = \vec{G}_1 + \vec{G}_2 + \vec{G}_3$ olur.

Cismi oluşturan bu üç parçanın y eksenine göre oluşturdukları toplam tork, cismin ağırlık merkezinin oluşturduğu torka eşit olacaktır. Buna göre;

$G_1 \cdot x_1 + G_2 \cdot x_2 + G_3 \cdot x_3 = G \cdot x$ şeklinde tork eşitliği yazılır. Buna göre ağırlık merkezinin x koordinatı,

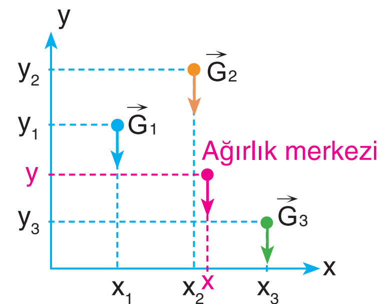
$$x = \frac{G_1 \cdot x_1 + G_2 \cdot x_2 + G_3 \cdot x_3}{G} \text{ elde edilir. (1)}$$

Şimdi x eksenine göre tork eşitliği yazılırsa

$G_1 \cdot y_1 + G_2 \cdot y_2 + G_3 \cdot y_3 = G \cdot y$ olur.

Buna göre ağırlık merkezinin y koordinatı,

$$y = \frac{G_1 \cdot y_1 + G_2 \cdot y_2 + G_3 \cdot y_3}{G} \text{ elde edilir. (2)}$$



Şekil 1.75 *Üç parçadan oluşan bir cismin ağırlık merkezi*

Yer çekimi ivmesinin cismin her noktasında aynı ve g büyüklüğünde olduğu kabul edilirse, (1) ve (2) numaralı denklemler,

$$x = \frac{m_1 \cdot g \cdot x_1 + m_2 \cdot g \cdot x_2 + m_3 \cdot g \cdot x_3}{M \cdot g} \text{ ve}$$

$$y = \frac{m_1 \cdot g \cdot y_1 + m_2 \cdot g \cdot y_2 + m_3 \cdot g \cdot y_3}{M \cdot g} \text{ olur.}$$

Denklemlerde sadeleştirme yapılırsa

$$x = \frac{m_1 \cdot x_1 + m_2 \cdot x_2 + m_3 \cdot x_3}{M} \quad \text{ve} \quad y = \frac{m_1 \cdot y_1 + m_2 \cdot y_2 + m_3 \cdot y_3}{M}$$

olur.

Böylelikle cismin kütle merkezinin koordinatları elde edilir. Cismin ağırlık merkezi ile kütle merkezinin koordinatlarının aynı olduğunu gördük.



Mini Performans

1) İp üzerinde yürüyen cambaz neden bir çubuk kullanır ya da kollarını yana doğru açar? Bu çubuğu kullanmasının ya da kollarını açmasının dengesini sağlamasında nasıl bir etkisi vardır?



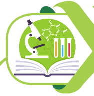
2) Hacıyatmaz oyuncakları, yere yatırılıp da bırakıldığında neden tekrar dik duruma gelir? Açıklayınız. Basit bir hacıyatmaz oyuncak yapınız ve bunu yaparken nasıl bir yol izlediğinizi arkadaşlarınızla paylaşınız.

Geometrik şekle sahip bazı türdeş maddelerin kütle merkezleri Tablo 1.10'da verilmiştir.

Tablo 1.10 *Geometrik şekle sahip bazı türdeş cisimlerin kütle merkezleri*

Şeklin adı	Cisim	Kütle merkezinin yeri	Şeklin adı	Cisim	Kütle merkezinin yeri
Düz çubuk		Çubuğun tam orta noktası	Dairesel levha		Dairesel levhanın merkezi
Çember		Çemberin merkezi	Üçgen		Kenarortayların kesim noktası
Kare		Köşegenlerin kesim noktası	Silindir		Alt ve üst taban merkezlerini birleştiren doğrunun orta noktası
Dikdörtgen		Köşegenlerin kesim noktası	Küre		Kürenin geometrik merkezi

Geometrik şekle sahip olmayan iki boyutlu maddelerin kütle merkezlerinin nasıl bulunabileceğini Etkinlik 1.6'da inceleyelim.



Etkinlik 1.6

Ağırlık Merkezinin Deneysel Olarak Bulunması

Amacı: Geometrik şekle sahip olmayan levha şeklindeki maddelerin ağırlık merkezini bulmak

Araç Gereçler
- Karton veya A4 kâğıt
- Makas
- Toplu iğne
- Kalem

Etkinliğin Basamakları

- Makası kullanarak karton veya A4 kâğıdını görseldeki gibi rastgele bir biçime sahip olacak şekilde kesiniz.



➤ Toplu iğneyi kâğıdın kenarına yakın bir noktadan batırınız. Kağıda değmeden, kâğıdı yere dik olacak biçimde toplu iğneden tutunuz. Bu işlem sırasında kâğıdın toplu iğnenin açtığı delik etrafında rahat dönmesine dikkat ediniz. Eğer rahat dönmüyorsa deliği biraz daha genişletiniz.

➤ Kâğıdın üzerinde, toplu iğnenin bulunduğu noktadan yere dik olacak biçimde bir çizgi çiziniz.

➤ Başka bir noktadan toplu iğneyi tekrar batırarak 2. ve 4. basamakları tekrarlayınız.

➤ Dilerseniz bu işlemi birkaç kez daha tekrar ediniz.

Sonuca Varalım

1. Çizdiğiniz çizgilerin kesiştiği nokta ne anlama gelir?

2. Kütle merkezini bulabilmek için kâğıda tek bir delik açmak yeterli midir? Yeterli değilse bu işlemi en az kaç kez tekrarlamak gerekir?

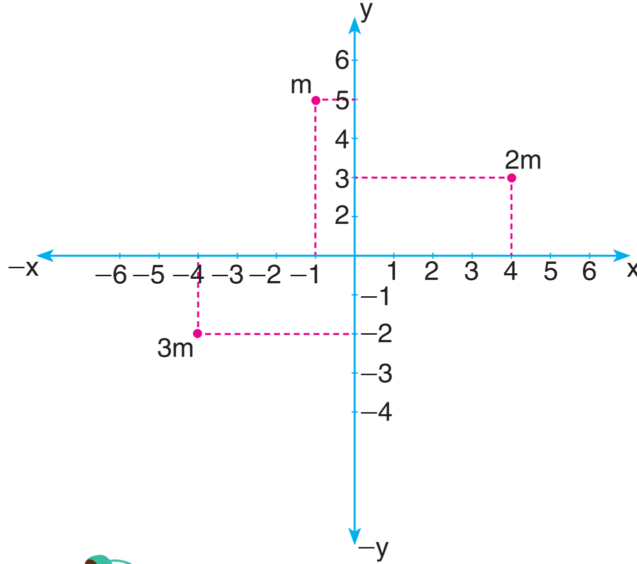
Duvara asılan bir tablonun ya da bir ipe bağlanarak asılan bütün maddelerin şekli ne olursa olsun ipin doğrultusu, maddenin bir yer çekimi etkisinde olması şartıyla mutlaka kütle merkezinden geçer. Etkinlik 1.6'da çizdiğiniz bütün çizgilerin kesiştikleri nokta, kâğıdın kütle merkezidir. Bu şekilde iki boyutlu bir maddenin şekli nasıl olursa olsun kütle merkezi bulunabilir.

Etkinlikteki işlemi bir kez yaptığımızda kütle merkezi elde edilen çizgi üzerindedir. Fakat yerini tam olarak söylemek mümkün değildir. Kütle merkezinin yerini tam olarak belirlemek için bu işlemi en az iki defa yapmak gereklidir.

1.9.3. Kütle Merkezi ve Ağırlık Merkezi ile İlgili Hesaplamalar

ÖRNEK 77

Şekildeki gibi koordinat sistemi üzerine yerleştirilen m, 2m ve 3m kütleli cisimlerin kütle merkezinin koordinatlarını bulunuz.



ÇÖZÜM

Öncelikle problemi çözmek için her bir kütlenin koordinatlarını belirlemek gerekir.

Koordinatlar m kütlesi için (–1, 5), 2m kütlesi için (4,3) ve 3m kütlesi için (–4,–2) olur.

Kütle merkezinin apsisi,

$$x = \frac{m_1 \cdot x_1 + m_2 \cdot x_2 + m_3 \cdot x_3}{M}$$

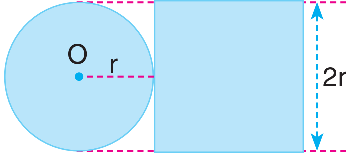
$$x = \frac{m \cdot (-1) + 2m \cdot 4 + 3m \cdot (-4)}{m + 2m + 3m} = -\frac{5}{6} \text{ olur.}$$

Kütle merkezinin ordinatı,

$$y = \frac{m_1 \cdot y_1 + m_2 \cdot y_2 + m_3 \cdot y_3}{M}$$

$$y = \frac{m \cdot 5 + 2m \cdot 3 + 3m \cdot (-2)}{m + 2m + 3m} = \frac{5}{6} \text{ olur.}$$

Kütle merkezinin koordinatları $\left(-\frac{5}{6}, \frac{5}{6}\right)$ şeklinde bulunur.



ÖRNEK 78

Aynı maddeden yapılmış r yarıçaplı dairesel levha ve bir kenarın uzunluğu 2r olan aynı kalınlıktaki kare levha şekildeki gibi birleştirilmiştir. Oluşan şeklin kütle merkezi, dairesel levhanın kütle merkezi olan O noktasından kaç r uzaklıktadır?

($\pi = 3$ alınız.)

ÇÖZÜM

Telden yapılmış çubuk, çember gibi bir boyutlu kabul edilebilecek maddelerin kütleleri telin uzunluğu; kare, daire gibi iki boyutlu kabul edilebilecek levha biçimindeki maddelerin kütleleri alanları; küp, küre, silindir gibi üç boyutlu maddelerin kütleleri ise hacimleri ile doğru orantılıdır.

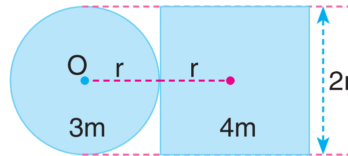
Sorudaki maddeler levha şeklinde olduğu için kütlelerle orantılı olan alanları bulunmalıdır. Dairesel levhanın alanı,

$A_{daire} = \pi \cdot r^2 = 3r^2$ olur.

Kare levhanın alanı

$A_{kare} = a^2 = (2r)^2 = 4r^2$ olur.

Bu durumda orantısal olarak dairenin kütlesine $m_{daire} = 3m$, karenin kütlesine $m_{kare} = 4m$ denilebilir.



O noktasına göre dairesel levhanın apsisi $x_{daire} = 0$, kare levhanın apsisi $x_{kare} = 2r$ olur. Kütle merkezi bağıntısında bu değerler yerine yazılırsa

$$x = \frac{m_{daire} \cdot x_{daire} + m_{kare} \cdot x_{kare}}{m_{daire} + m_{kare}}$$

$$= \frac{3m \cdot 0 + 4m \cdot 2r}{3m + 4m} = \frac{8}{7} r \text{ bulunur.}$$



1. ÜNİTE: 9. BÖLÜM DEĞERLENDİRME SORULARI

A. Aşağıdaki cümlelerde boş bırakılan yerleri uygun kelimeleri kullanarak tamamlayınız.

yer çekimi | kuvvet | skaler | dinamometre | tork | vektörel | simetri

1. Bir cismin dengede olması için .... dengesi ve .... dengesi olması gerekir.
2. Ağırlık merkezinden bahsetmek için cismin bulunduğu yerde .... olmalıdır.
3. Ağırlık .... bir büyüklüktür.
4. Düzgün ve türdeş bir cismin kütle merkezi, cismin .... ekseni üzerinde olur.
5. Ağırlık .... ile ölçülür.

B. Aşağıdaki cümlelerin başına doğru ise "D", yanlış ise "Y" yazınız.

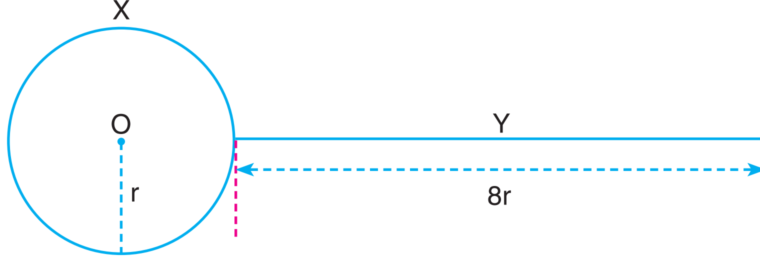
1. ( ) Kuvvet dengesinin sağlandığı her durumda cisimler dengededir.
2. ( ) Bir cismi iple tavana astığımızda ipin doğrultusu, cismin ağırlık merkezinden geçer.
3. ( ) Bir cismin kütle merkezi ile ağırlık merkezi daima çakışıktır.
4. ( ) Düzgün ve türdeş bir kare levhanın kütle merkezi köşegenlerinin kesim noktasıdır.
5. ( ) Bir cismin kütle merkezi, cismin dışında bir noktada olabilir.

C. Aşağıdaki soruları cevaplayınız.

1. Bir cismin dengede olması için gereken şartlar nelerdir?
2. Düzgün olmayan düzlemsel şekilli bir cismin kütle merkezi deneysel olarak nasıl bulunabilir?
3. Bir cismin kütle merkezi ve ağırlık merkezi daima çakışık mıdır? Açıklayınız.
4. Yer çekimi olmayan bir yerde ağırlık merkezinden bahsedilebilir mi? Açıklayınız.
5. Bir cismin ekvatordan kutuplara götürülmesi sırasında kütle ve ağırlığı nasıl değişir? Açıklayınız.

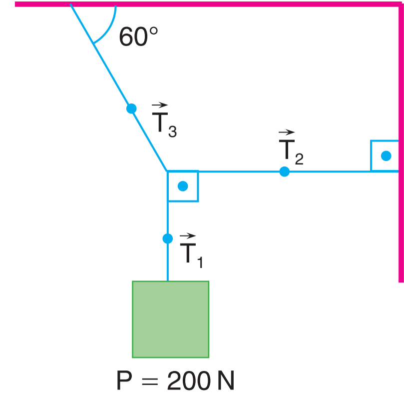
Ç. Aşağıdaki problemleri çözünüz.

1. Yarıçapı r olan, 2d özkütleli telden yapılmış X çemberi ile, uzunluğu 8r olan d özkütleli Y teli şekildeki gibi birleştiriliyor. Teller aynı kalınlıkta olduğuna göre oluşan şeklin kütle merkezi çemberin merkezinden kaç r uzaklıktadır? ($\pi = 3$ alınız.)

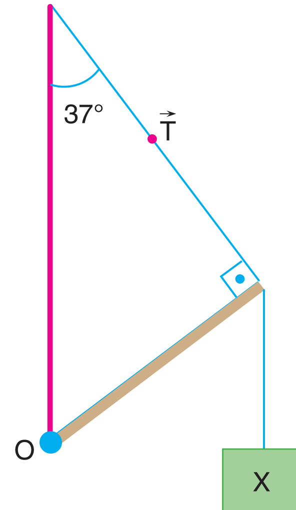


2. 200 N ağırlığındaki P yükü şekildeki gibi dengededir. İplerde oluşan gerilme kuvvetlerini bulunuz.

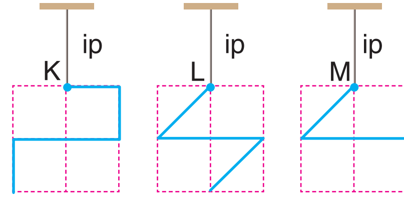
$\left(\sin 30^\circ = \frac{1}{2}; \sin 60^\circ = \frac{\sqrt{3}}{2}\right)$



3. Ağırlığı 20 N olan ve O noktası etrafında serbestçe dönebilen türdeş çubuğun ucuna 50 N ağırlığındaki X cismi asılıyor. Çubuk şekildeki ip yardımı ile dengede olduğuna göre ipte oluşan gerilmeyi $(\vec{T})$ bulunuz. $(\sin 37^\circ = 0{,}6; \sin 53^\circ = 0{,}8)$

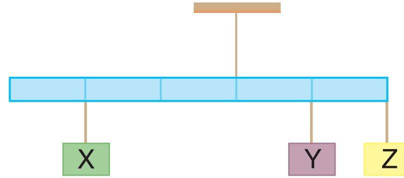


4. Türdeş teller kullanılarak elde edilen K, L ve M cisimleri ipler yardımı ile tavana asılıyor. Bu tellerden hangisi ya da hangileri görülen düşey konumlarda dengede kalabilir? (Bölmeler eşit aralıklıdır.)



D. Aşağıdaki test sorularını çözünüz.

1.



Ağırlığı önemsiz bir çubuğa X,Y,Z cisimleri asılıp çubuk bir iple tavana bağlandığında şekildeki gibi dengede kalıyor.

Cisimlerin ağırlıkları P_X, P_Y, P_Z olduğuna göre;

I. $P_X > P_Y$

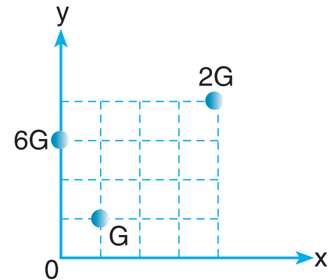
II. $P_X > P_z$

III. $P_Y > P_z$

önermelerinden hangisi ya da hangileri kesinlikle doğrudur?

A) Yalnız I **B)** Yalnız II **C)** I ve II **D)** I ve III **E)** I,II ve II

2. Şekildeki gibi koordinat sistemi üzerine yerleştirilen 6G, 2G ve G ağırlıklı cisimlerin ağırlık merkezinin koordinatları aşağıdakilerden hangisidir?



A) (0, 2) **B)** (1, 3) **C)** (1, 2)

D) (0, 3) **E)** (3, 0)

1.10. BASİT MAKİNELER

Bu bölümde;

- Günlük hayatta kullanılan basit makineleri,
- Basit makinelerle ilgili hesaplamaları,
- Basit makine tasarlamayı öğreneceğiz.

Kavramlar

- Basit Makine
- Kuvvet Kazancı
- Verim

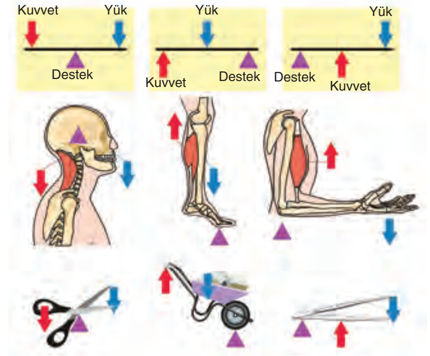
BANA BİR DAYANAK NOKTASI VERİN...

Yüzyıllardan beri ünlü fizikçi Archimedes'in (Arşimet, MÖ. 287-212) "Bana bir dayanak noktası verin, Dünya'yı yerinden oynatayım." sözü dillerden düşmemiştir (Görsel 1.132 ve 1.133).

Sizce Archimedes bu sözüyle ne demek istemiştir? Gerçekten yeterince uzun bir kaldıraç ve bir dayanak noktası ile neler yapılabilir?

İskelet sistemimizdeki bazı kas ve kemiklerimizin kaldıraç sistemi ile çalıştığını biliyor musunuz (Görsel 1.134)?

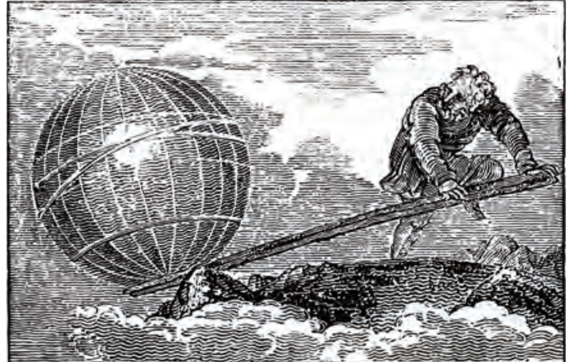
İnsanlar eski çağlardan beri işlerini daha hızlı ve kolay yapabilmek için çeşitli yollar aramışlardır. Günlük hayatımızda kullandığımız pek çok basit makine vardır. Çevrenizdeki basit makineler nelerdir sizce?



Görsel 1.134 Kas ve kemiklerimiz çeşitli kaldıraç sistemleri gibi çalışırlar.



Görsel 1.132 *Floransa'daki Uffizi Galerisi'ndeki duvar boyama*



Görsel 1.133 *1824 yılında basılan Mechanic's Magazine kitabının 2. cildinin kapağı*

1.10.1. Günlük Hayatta Kullanılan Basit Makineler

Günlük hayatta kullandığımız ve hayatımızı kolaylaştıran birçok basit makine vardır. Hatta bunların birer basit makine olduğunun çoğu kez farkına bile varmayız. Fizik derslerinde isimleri karşımıza kaldıraç, makara, palanga, eğik düzlem, vida, çıkrık, çark, kasnak olarak çıkan basit makinelerin çalışma prensipleri kullanılarak kapı kolu (Görsel 1.135), makas, pense, ceviz kıracağı (Görsel 1.136), cıvata, tornavida (Görsel 1.137), mekanik saat (Görsel 1.138) vb. gibi birçok alet yapılır.

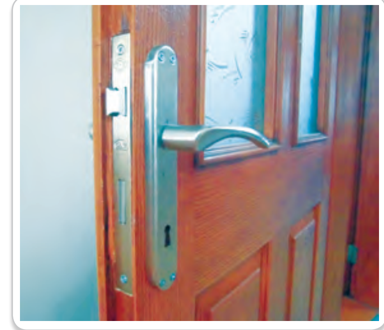
Basit makineler küçük kuvvetler uygulayarak büyük ağırlıkları hareket ettirmek, kuvvetin yönünü değiştirmek, yapılacak işi daha kısa sürede yapmak gibi amaçlarla kullanılır. Ancak bir basit makinede tüm kazançları aynı anda sağlamak mümkün değildir. Kuvvetten kazanç sağlanan bir basit makinede yoldan kayıp vardır. Örneğin 1,5 tonluk yükü elimizle kaldırmak için zincir ve makaralardan oluşan bir sistem kullanabiliriz. Araba motoru gibi bir yükü 1 m yukarı kaldırmak için kuvvet uyguladığımız zinciri metrelerce çekmek zorunda kalırız. Bu sistem daha çok sanayide araba motorlarını kaldırmada kullanılır.

Hayatımızdaki basit makinelerin saymakla bitmeyecek kadar çok işlevi vardır. Tırnak makası olmadan tırnaklarımızı kesmek, makas olmadan kumaş kesmek pek mümkün olmazdı. Küçük cisimleri tutmak, şekil vermek için kullanılan pense; iki parçayı birbirine sıkıca bağlamak için kullanılan vida; mekanik saatte, araba motorunda dönüş hareketini sağlamak ve bu hareketi istenilen parçaya istenilen miktarda aktarmak için kullanılan dişli çarklar; cisimlerin hareketlerini kolaylaştıran tekerlek; ışığı açıp kapatmada kullanılan elektrik anahtarları günlük yaşamda kullandığımız, asla vazgeçemeyeceğimiz basit makinelerdir.

Verim

Basit makinelerde, tork ve kuvvet dengesi ile iş-enerji prensipleri geçerlidir. Herhangi bir basit makine kullanılarak işten ya da enerjiden kazanç sağlanamaz. Sürtünme ve basit makinelerin kendi ağırlıkları nedeniyle verilen enerjinin tamamı işe çevrilemez. Ancak bunların ihmal edilebildiği, işten ve enerjiden kayıp olmadığı varsayılan basit makinelere ideal basit makine denir. İdeal basit makinelerin verimi %100 olur. Sürtünmelerin ihmal edilmediği durumlarda bir basit makinenin verimi,

$$\text{Verim} = \frac{\text{Sistemi sürtünmesiz durumda dengeleyen kuvvet}}{\text{Sistemi sürtünmeli durumda dengeleyen kuvvet}} \text{ olur.}$$



Görsel 1.135 Kapı kolu, günlük hayatta belki de en çok kullandığımız basit bir makinedir.



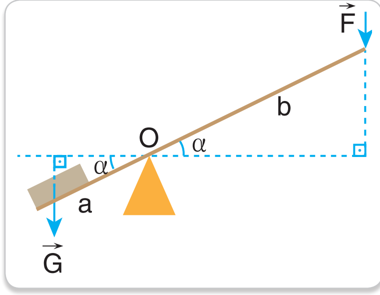
Görsel 1.136 Pense, makas ve ceviz kıracağı sıkça kullandığımız basit makinelerdendir.



Görsel 1.137 Vidalar ve bu vidaları söküp takmaya yarayan tornavidalar basit makinelerdendir.



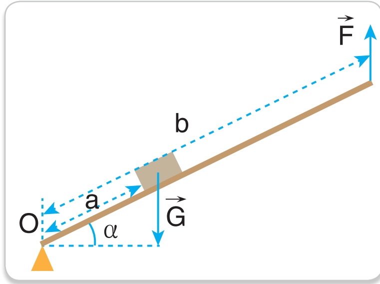
Görsel 1.138 Mekanik saat içinde kullanılan farklı çaplara sahip dişliler sayesinde saat ibrelerinin dönüş hızları ayarlanabilir.



Şekil 1.76 *1. Tip kaldıraçlarda destek, yükle kuvvetin arasındadır.*



Görsel 1.139 *Destek noktası ortada olan makas, 1. tip kaldıraçlar grubuna girer.*



Şekil 1.77 *2. Tip kaldıraçlarda yük, destekle kuvvetin arasındadır.*



Görsel 1.140 *Küçük bir çocuk el arabası sayesinde, normalde taşıyabileceğinden daha fazla yükü taşıyabilir.*

Bir sistemin verimi için genel olarak

$$\text{Verim} = \frac{(\text{Alınan Enerji})}{(\text{Verilen Enerji})} = \frac{(\text{Alınan İş})}{(\text{Verilen İş})} = \frac{(\text{Alınan İş})}{(\text{Verilen Enerji})}$$

bağıntılarını kullandığımızı anımsayınız. Basit makinelerde ise kuvvet uygulanarak yapılan iş, yükün yer değiştirmesi sırasında kazanacağı enerjiye dönüşeceğinden

$$\text{Verim} = \frac{(\text{Yükün kazandığı enerji})}{(\text{Kuvvetin yaptığı iş})}$$ olarak yazılabilir.

Basit makineler kullanılarak oluşturulan sistemde, küçük kuvvetler uygulayarak büyük kuvvetleri hareket ettiriyorsak kuvvetten kazanç sağlarız. Ancak aynı oranda yoldan kaybederiz. G yükünü F kuvveti ile dengelediğimiz bir basit makine için kuvvet kazancı,

$KK = \frac{G}{F}$ olarak ifade edilebilir. $KK > 1$ ise kuvvetten kazanç ve bu kazanç oranında yoldan kayıp vardır. $KK = 1$ ise kuvvet ya da yoldan ne kazanç ne de kayıp vardır. $KK < 1$ ise kuvvetten kayıp ve bu kayıp oranında yoldan kazanç vardır.

Kaldıraç

Kaldıraçlar bir çubuk ve bu çubuğun dönmesini sağlayan destekten oluşan basit makinelerdir. Destek noktasının bulunduğu yere göre üç tip kaldıraç vardır. Destek noktası ve kuvvetin uygulama yerine göre değişik özellikler gösteren kaldıraçlar farklı amaçlar için kullanılabilir.

1. tip kaldıraç: Şekil 1.76'daki gibi desteğin yük ve kuvvet arasında olduğu kaldıraç tipidir. Görsel 1.139'daki makas, tahteravalli, sandal kürekleri 1. tip kaldıraçlardandır. Şekil 1.76'daki kaldıraç için çubuğun ağırlığı ihmal edilerek O noktasına göre tork dengesi yazılırsa

$G \cdot a \cdot \cos\alpha = F \cdot b \cdot \cos\alpha$ ve buradan $G \cdot a = F \cdot b$ elde edilir.

Bu eşitlikte a, yük kolu; b, kuvvet koludur. a, b kol uzunluklarına ve kullanılan çubuğun ağırlığına göre G ve F arasındaki büyüklük ilişkisi değişebilir.

2. tip kaldıraç: Şekil 1.77'deki gibi yükün, destek ve kuvvet arasında olduğu kaldıraç tipidir. Görsel 1.140'daki el arabası, gazoz açacağı, ağır bir varili hareket ettirmek için kullanılan çubuk 2. tip kaldıraca örnek olarak verilebilir. Şekil 1.77'deki kaldıraç için çubuğun ağırlığı ihmal edilerek O noktasına göre tork dengesi yazılır.

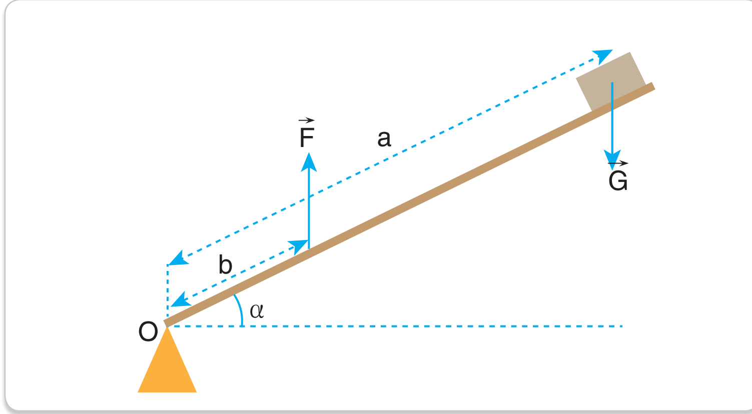
$G \cdot a \cdot \cos\alpha = F \cdot b \cdot \cos\alpha$ ve buradan $G \cdot a = F \cdot b$ olur. 2. tip kaldıraçlarda daima $b > a$ olacağı için $F < G$ ilişkisi oluşur. Bu kaldıraçlarda kuvvetten kazanç, yoldan kayıp vardır. Ancak kullanılan çubuğun ağırlığına göre kuvvet kazancı değişebilir. Hatta kuvvetten kayıp da olabilir.

3. tip kaldıraç: Şekil 1.78'deki gibi kuvvetin, destek ve yük arasında olduğu kaldıraç tipidir. Görsel 1.141'deki maşa, cımbız, bahçe işlerinde kullanılan kürek 3. tip kaldıraca örnek olarak verilebilir. Şekil 1.78'deki kaldıraç için çubuğun ağırlığı ihmal edilerek O noktasına göre tork dengesi yazılırsa

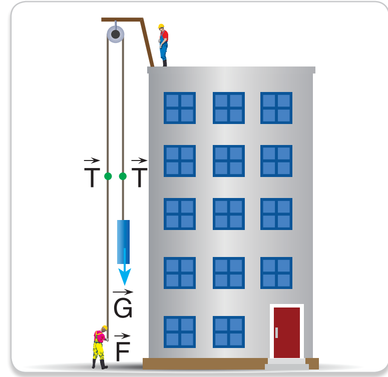
$G \cdot a \cdot \cos\alpha = F \cdot b \cdot \cos\alpha$ ve buradan $G \cdot a = F \cdot b$ olur. 3. tip kaldıraçlarda daima $a > b$ olacağı için $F > G$ ilişkisi oluşur. Bu kaldıraçlarda daima kuvvetten kayıp, yoldan kazanç vardır.



Görsel 1.141 Maşa ile bir şekeri tutmak için şekerin ağırlığından daha büyük bir kuvvet uygularız.



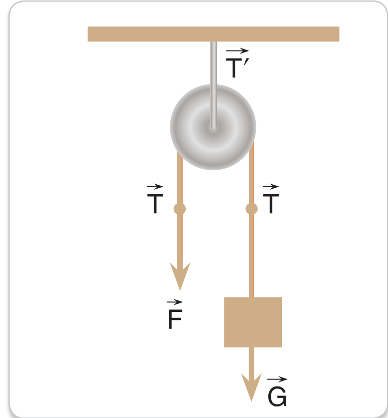
Şekil 1.78 3. Tip kaldıraçlarda kuvvet, destekle yükün arasındadır.



Şekil 1.79 Sabit makara kullanarak yapılan sistemde yerdeki yükün evin çatısına çıkarılması sağlanıyor.

Sabit Makara

Bir doğru boyunca hareket etmeyen, yalnızca sabit bir eksen etrafında dönebilen makaralara sabit makara denir. Şekil 1.79'da bir yükü yerden evin çatısına çıkarmak için bir sabit makara kullanılmıştır. Bu sistemdeki kuvvetleri Şekil 1.80'deki gibi çizerek inceleyelim. Sistemin tamamı dengede olduğundan sisteme ait parçalarda dengededir. Makara üzerindeki sürtünmeleri ihmal ederek sol taraftaki ip için $F = T$, sağ taraftaki ip için $T = G$ yazılabilir. Bu durumda $F = G$ elde edilir. $\frac{F}{G} = 1$ olduğu için sabit makarada kuvvet kazancı yoktur. Yükü kaldırmak için gerekli kuvvet aynı olacağı için bu makaralar kuvvetin yönünü değiştirmek için kullanılır. Makaranın ağırlığı ihmal edilirse makarayı tavana bağlayan ip üzerinde oluşan gerilme kuvvetinin büyüklüğü

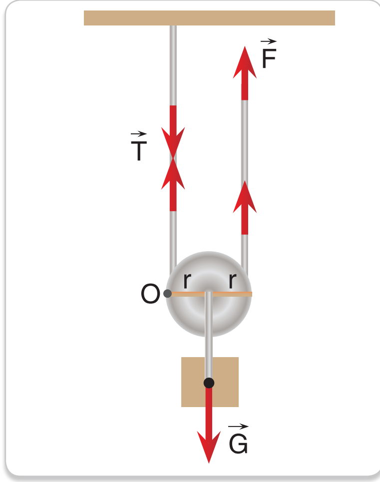


Şekil 1.80 Sabit makara üzerindeki kuvvet diyagramı

$T' = 2T = 2F = 2G$ olur. Yani G ağırlığındaki bir yükü taşımak için 2G ağırlığında bir yükü taşıyacak kadar sağlam bir ipe ihtiyaç duyulur. Makaranın ağırlığının G_{makara} kadar olması hâlinde ise bu ip $2G + G_{makara}$ büyüklüğünde bir yükü taşıyacak kadar sağlam olmalıdır.

Hareketli Makara

Bir eksen etrafında dönerken aynı zamanda öteleme hareketi de yapan makaralara hareketli makara denir. Şekil 1.81'deki gibi hareketli bir makara kullanılarak oluşturulan sistemde, yükle birlikte makarada düşey hareket yapar. Hareketli makarada kuvvet dengesini kullanarak kuvvet ve yük arasındaki ilişkiyi bulalım. Makaranın ağırlığını ve sürtünmesini ihmal ederek ipteki gerilme için $F = T$ yazılabilir. G yükünü iki ip kaldırdığı için $G = 2T$ olur. Yani $G = 2F$ ve $F = \frac{G}{2}$ olur. Kuvvet kazancı ise $KK = \frac{G}{F} = 2$ olur. Kuvvet kazancının 2 olması yükü dengelemek için yükün yarısı kadar bir kuvvet uygulamak gerektiği, ancak yükün h kadar yükselmesi için kuvvetin uygulandığı ipin 2h kadar çekilmesi gerektiği anlamına gelir.



Şekil 1.81 *Hareketli makara için kuvvet diyagramı*

Makara hareket ederken O noktası etrafında döner. O noktasına göre tork dengesini yazarsak $G \cdot r = F \cdot 2r$ ve yine $G = 2F$ elde edilir.

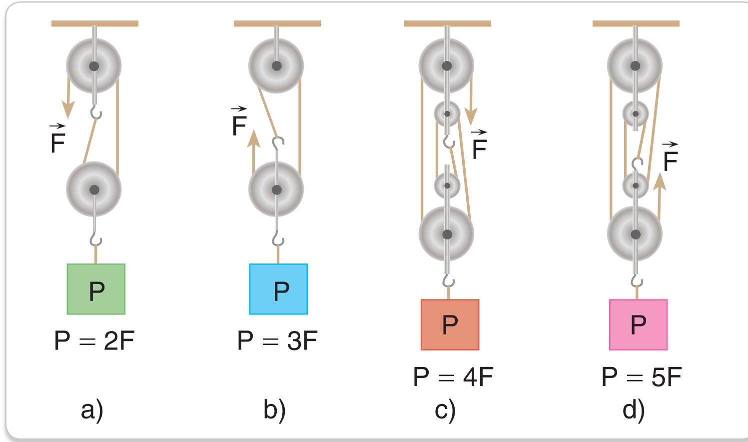
Kuvvetin uygulandığı ip x kadar yukarı çekildiğinde yük de h kadar yukarı çıkmış olsun. Basit makinelerin çalışma prensiplerinden biri olan iş-enerji prensibini bu hareketli makara için uygulayalım.

$$W = \Delta E$$
$$F \cdot x = G \cdot h$$
$$F \cdot x = 2F \cdot h$$
$$x = 2h$$

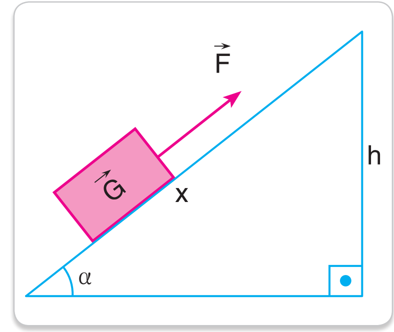
olur ki bu durum *"Kuvvetten kazanç varsa aynı oranda yoldan kayıp vardır."* ilkesini doğrular.

Palanga

Sabit ve hareketli makaralar birlikte kullanılarak oluşturulan makaralar sistemidir. Palangalar, kuvvetten daha çok kazanmanın yanı sıra uygulanacak kuvvetin yönünün belirlenmesi için de kullanılır. Şekil 1.82'de kullanılan bazı palangalar görülmektedir. Şekil 1.82. a) ve Şekil 1.82. b)'de aynı makaralar kullanılmasına rağmen P yükünü dengede tutan kuvvetlerin farklı büyüklükte olması ipin sarım şekli ile ilgilidir. Şekil 1.82. c) ve Şekil 1.82. d)'de kullanılan sistemler için de aynı durum söz konusudur.



Şekil 1.82 *Sabit ve hareketli makaralar kullanılarak elde edilen sistemlere palanga denir. (Makara ağırlıkları önemsenmiyor.)*

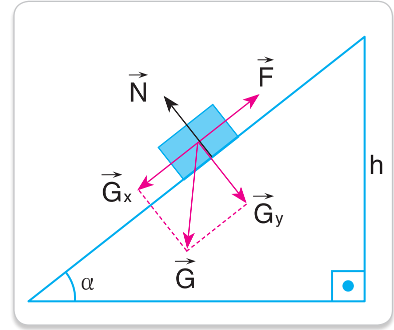


Şekil 1.83 *Ağır bir yükü, daha küçük kuvvetle hareket ettirmek için eğik düzlem kullanılır.*

Eğik Düzlem

Şekil 1.83'teki gibi ağır bir G yükünü yerden h kadar yükseltmek için kullanılan ve yatayla açı yapacak şekilde konulan düzleme eğik düzlem denir. Eğik düzlemin yatayla yaptığı açıya ise eğim açısı denir.

Şekil 1.83'teki bu yükün, yerden h kadar yükseltilebilmesi için $\vec{F}$ kuvveti etkisinde x yolunun alınması gerekir. Sürtünmeyi ihmal ederek yüke etki eden kuvvet diyagramını çizelim (Şekil 1.84). Yük hareket etmiyorsa ya da sabit hızla hareket ediyorsa dengede olur.



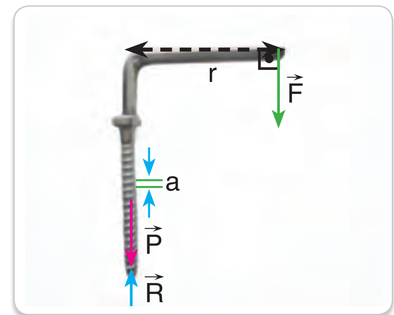
Şekil 1.84 *Cismin üzerine uygulanan kuvvet diyagramı*

$G_y = N$ ve $G_x = F$ olur. G_x bileşeni $G \cdot \sin\alpha$ olacağından $F = G \cdot \sin\alpha$ elde edilir. Kuvvet kazancı formülünde F'nin bu değeri yerine yazılarak

$KK = \dfrac{G}{F} = \dfrac{G}{G \cdot \sin\alpha} = \dfrac{1}{\sin\alpha}$ olur. Eğik düzlem, kamyon gibi yerden yüksek araçlara ağır yükleri taşımak vb. amaçlarla kullanılır.

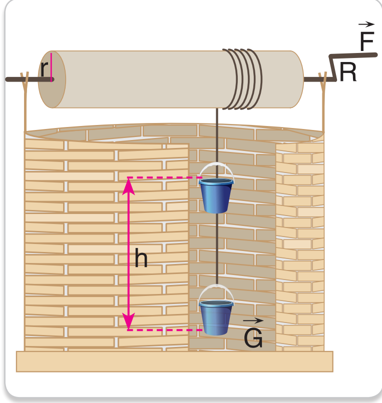
Vida

Görsel 1.142'deki gibi bir vida, üzerindeki dişler yardımıyla parçaları birbirine bağlamak için kullanılır. r uzunluğunda bir kuvvet koluna sahip anahtar yardımıyla vida bir tur döndürülürse zemin içinde a kadar ilerler. Ardışık iki diş arasındaki bu uzaklığa **vida adımı** denir. Vida ilerlerken zemine P büyüklüğünde bir kuvvet uygular. Zemin de vidaya tepki olarak aynı büyüklükte bir R direnç kuvveti uygular. Vidanın 1 tur dönmesi sonucu iş-enerji eşitliği,



Görsel 1.142: *Vida bir tur dönerse zeminde vida adımı kadar ilerler.*

$F \cdot 2\pi r = P \cdot a$ şeklinde yazılabilir. $2\pi r > a$ olacağından $F < P$ olur ve kuvvetten kazanç sağlanır. Vida adımı a olan bir vida n tur döndürüldüğünde zeminde $h = n \cdot a$ kadar ilerler. Vidanın zemin içindeki ilerleme miktarı yalnızca vida adımı ve tur sayısına bağlıdır. Vidayı döndürmek için kullanılan anahtar kolunun uzunluğunu değiştirmek yalnızca uygulanacak kuvveti değiştirir.



Şekil 1.85 *Çıkrık sistemi kullanılarak küçük kuvvetlerle kuyudan su çıkarılabilir.*

Çıkrık

Yarıçapları farklı iki silindirin birleştirilerek aynı eksen etrafında dönmesini sağlayan sisteme çıkrık denir. Çıkrıkların pek çok kullanım alanı vardır. Şekil 1.85'teki gibi kuyudan su çıkarmaya yarayan sistem, araba kapılarında pencereleri açıp kapatan kol, oltalarda ipi dolamak için kullanılan kol (Görsel 1.143), kapı kolu çıkrık sisteminin kullanıldığı basit makinelerdir.

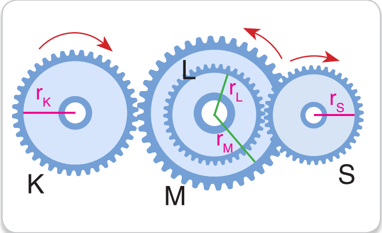


Görsel 1.143 *Olta ipini dolamak için çıkrık sistemi kullanılır.*

Çıkrığın dönme merkezine göre tork dengesi yazılırsa

$G \cdot r = F \cdot R$ olur ve $R > r$ olduğundan $F < G$ olur. Çıkrık kolu ve silindir eş merkezli olduklarından tur sayıları daima birbirine eşit olur. Çıkrık 1 tur döndürüldüğünde, yük $2\pi r$ kadar, n tur döndürüldüğünde ise $h = n \cdot 2\pi r$ kadar ilerler. Çıkrık kolunun uzunluğunun değişmesi yükün ilerleme miktarını etkilemez. Yükün ilerleme miktarı, tur sayısına (n) ve yükün bağlı olduğu silindirin yarıçapına (r) bağlıdır.

Dişli Çarklar



Şekil 1.86 *Dişli çarklardan oluşan bir sistemde dişlilerin dönüş yönleri ve dönüş hızları istenilen duruma getirilebilir.*

Elde edilen dönme hareketinin başka noktalara taşınması, dönüş yönünün ve hızının değiştirilmesi için kullanılan basit makinelerdir. Bu basit makinelerde hareketin iletilmesi çark üzerindeki dişlilerle sağlanır. Şekil 1.86'da gösterilen K, L, M ve S çarklarının sırasıyla tur sayıları n_K, n_L, n_M ve n_S olsun. K çarkı saat yönünde hareket ettirildiğinde diğer dişliler de şekildeki yönlerde hareket eder. K ve M dişlilerinin dönme eksenleri birbirinden farklı olup tur sayıları çevreleriyle, dolayısıyla yarıçapları ile ters orantılı olur. K ve M dişlileri için,

$n_K \cdot r_K = n_M \cdot r_M$ eşitliği oluşur. L ve M dişlileri ise eşmerkezli olduklarından tur sayıları yarıçaplarından bağımsız olarak $n_L = n_M$ şeklindedir. L ve S dişlileri arasında ise $n_L \cdot r_L = n_S \cdot r_S$ elde edilir.



Görsel 1.144 *Vites kutusunda bulunan farklı büyüklükteki dişli çarklar sayesinde arabanın istenilen hızda gitmesi sağlanır.*

Dişli sistemler araba motoru, vites kutusu (Görsel 1.144), mekanik saatler sanayideki birçok makinede kullanılır.

Kasnaklar

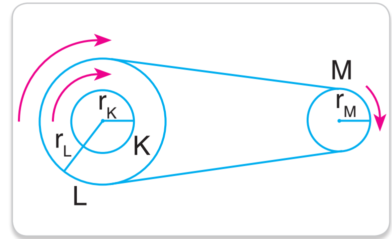
Birbirinden uzak makaraların bir kayış veya dişlilerin bir zincir kullanılarak birbirine bağlanması ile oluşturulan basit makine sistemleridir. Dişli çarklardaki gibi elde edilen dönme hareketi istenilen noktaya, istenilen hızda ve yönde iletilebilir. Şekil 1.87'deki gibi bir kasnak sisteminde M kasnağı saat yönünde hareket ettirildiğinde L kasnağı da saat yönünde hareket eder. Tur sayıları n_M ve n_L, yarıçapları r_M ve r_L ise dişli çarklardakine benzer olarak $n_M \cdot r_M = n_L \cdot r_L$ eşitliği oluşur.

L ve K kasnakları eşmerkezli olduğundan yarıçaplarından bağımsız olarak hem tur sayıları hem de dönüş yönleri aynı olur.

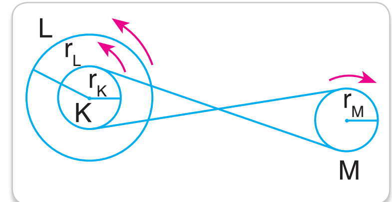
Şekil 1.88'deki gibi bir kasnak sisteminde ise M kasnağı saat yönünde hareket ettirildiğinde K kasnağı saat yönünün tersi yönünde hareket eder. Tur sayıları n_M ve n_K, yarıçapları r_M ve r_K ise dişli çarklardakine benzer olarak $n_M \cdot r_M = n_K \cdot r_K$ eşitliği oluşur.

L ve K kasnaklarının bu sistemde de hem tur sayıları hem de dönüş yönleri yarıçaplarından bağımsız olarak aynı olur.

Kasnaklar araba ve su motorlarında kullanılır. Bisiklette pedal yardımı ile oluşan dönme hareketinin arka tekerleğe iletilmesinde de kullanılır.



Şekil 1.87 *Kasnakların hepsi aynı yönde döner.*



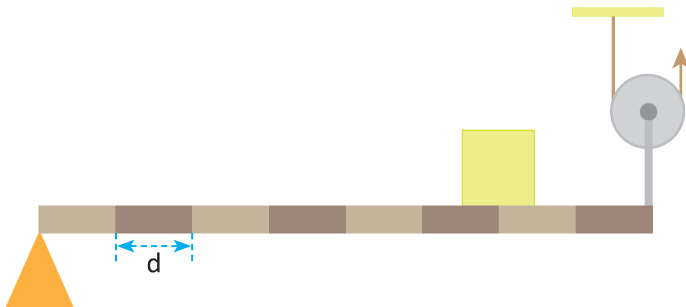
Şekil 1.88 *K ve L kasnakları aynı yönde dönerken, M kasnağı zıt yönde döner.*

1.10.2. Basit Makinelerle İlgili Hesaplamalar

ÖRNEK 79

Şekildeki gibi ağırlığı önemsiz bir hareketli makara ile türdeş ve eşit bölmeli çubuk kullanılarak 100 N ağırlığındaki yük dengelenmek isteniyor. Çubuğun ağırlığı 10 N olduğuna göre;

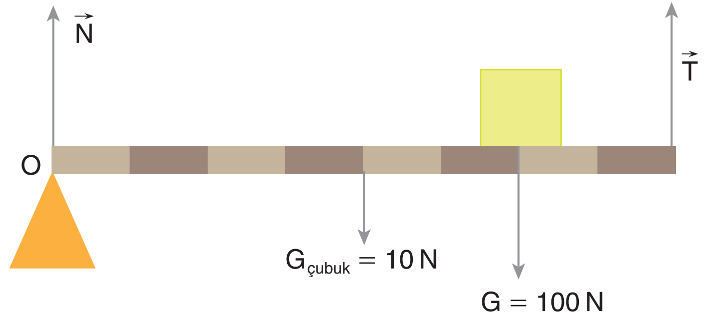
a) Sistemi dengelemek için uygulanması gereken kuvveti



b) Destekte oluşan tepki kuvvetini bulunuz. (Makara ve ip ağırlıkları ile sürtünmeleri ihmal ediniz.)

ÇÖZÜM

a) Çubuk türdeş ve eşit bölmeli olduğundan ağırlık merkezi çubuğun tam orta noktasındadır. Makaranın altında bulunan ipteki gerilmeyi $(\vec{T})$ gösterip kuvvet diyagramını çizelim.



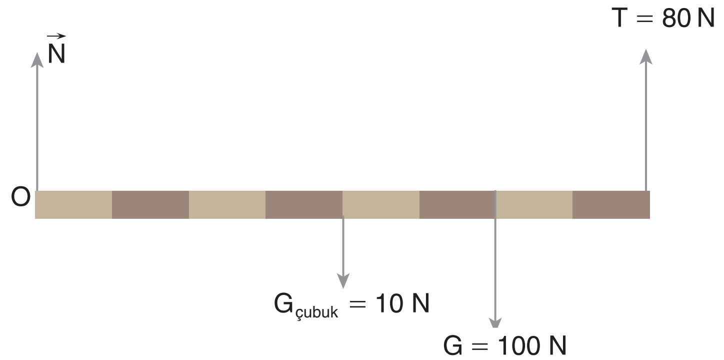
O noktasına göre tork dengesini yazalım. N tepki kuvvetinin O noktasına göre torku sıfır olur. Bu durumda,

$G_{çubuk} \cdot 4d + G \cdot 6d = T \cdot 8d$

$10 \cdot 4d + 100 \cdot 6d = T \cdot 8d$ ve $T = 80$ N bulunur.

T ip gerilmesi hareketli makara ile dengelendiği için $T = 2F$ olur ve $80 = 2F$ ve $F = 40$ N bulunur.

b) Sistemin tamamı dengede olduğundan sistemin bir parçası olan çubuk da dengededir. Çubuk üzerindeki kuvvet diyagramı çizilip kuvvet dengesi yazılırsa

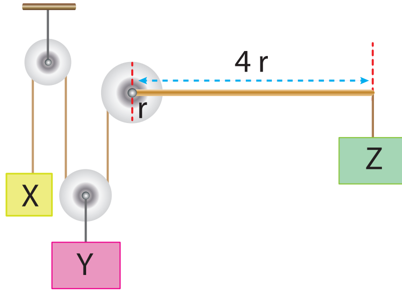


$N + T = G + G_{çubuk}$

$N + 80 = 100 + 10$

$N = 30$ N bulunur.

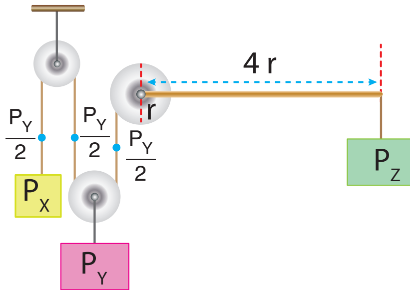
ÖRNEK 80



Şekildeki gibi basit makinelerin kullanıldığı sistem X,Y ve Z cisimleri ile dengededir. Yarıçapı r olan çıkrığın kol uzunluğu 4r olduğuna göre X, Y ve Z cisimlerinin ağırlıklarını büyüklüklerine göre sıralayınız. (Sistemdeki sürtünmeleri ve basit makine ağırlıklarını önemsemeyiniz.)

ÇÖZÜM

Sistemde birden çok basit makine kullanılmıştır. Bu tip bir sistem dengede ise sistemin her bölümüne denge şartları uygulanabilir. Çözüme, istenilen bir basit makine üzerindeki denge şartları yazılarak başlanabilir. X,Y ve Z cisimlerinin ağırlıkları sırasıyla P_X, P_Y ve P_Z olsun. Y cismi hareketli bir makaraya bağlı olduğundan ipte $\frac{P_Y}{2}$ büyüklüğünde bir gerilme oluşur.



Sabit makaraya bağlı x cisminin ağırlığı

$P_X = \frac{P_Y}{2}$ olur.

Çıkrık üzerindeki denge şartı yazılarak $\frac{P_Y}{2} \cdot r = P_Z \cdot 4r$ ve $P_Y = 8P_Z$ olur. Büyüklük sıralaması ise $P_Y > P_X > P_Z$ şeklinde elde edilir.



Sıra Sizde 1.53

Bir ucu destek üzerinde dönebilen 2 m uzunluğundaki kaldıraç çubuğunun tam ortasında duran 300 N ağırlığındaki bir yük en küçük kuvvet uygulanarak dengede tutulmak isteniyor. Bunun için bir sabit ve bir hareketli makaranın kullanılabileceği bir sistem oluşturunuz. (Sistemdeki sürtünmeleri, makaraların ve çubukların ağırlıklarını ihmal ediniz.)

ÖRNEK 81

Bir basit makine %100 verimli çalışırken 60 N ağırlığındaki bir yükü 15 N büyüklüğünde bir kuvvetle dengede tutmaktadır. Aynı yük 30 N büyüklüğünde bir kuvvetle dengelenirse basit makinenin verimi yüzde kaç olur?

ÇÖZÜM

Basit makine %100 verimli çalışırken, 15 N büyüklüğünde kuvvetle dengede tutulurken ikinci durumda 30 N büyüklüğünde kuvvetle dengelenmiştir. Buna göre ikinci durumda sistemde sürtünme vardır.

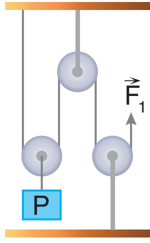
$$\text{Verim} = \frac{\text{Sistemi sürtünmesiz durumda dengeleyen kuvvet}}{\text{Sistemi sürtünmeli durumda dengeleyen kuvvet}}$$

olduğundan,

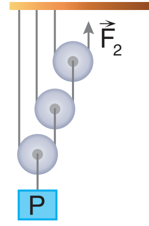
$\text{Verim} = \frac{15}{30} = 0,5$ bulunur.

Bu durumda basit makinenin verimi %50 dir.

ÖRNEK 82



Şekil I

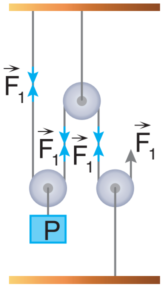


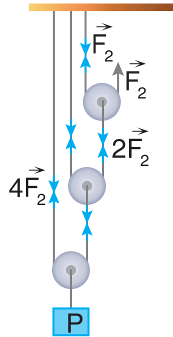
Şekil II

Şekil I ve II'deki sistemlerde ağırlıkları P olan cisimler $\vec{F}_1$ ve $\vec{F}_2$ kuvvetleriyle dengelenmiştir. Makara ağırlıkları ve sürtünmeler önemsiz olduğuna göre $\vec{F}_1$ ve $\vec{F}_2$ kuvvetlerinin P cinsinden değerlerini bulunuz.

ÇÖZÜM

Aynı tipteki gerilme kuvvetlerinin büyüklükleri eşit olduğundan denge şartına göre;





$F_1 + F_1 = P$

$2F_1 = P$

$F_1 = \frac{P}{2}$ bulunur.

$4F_2 + 4F_2 = P$

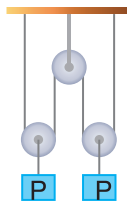
$8F_2 = P$

$F_2 = \frac{P}{8}$ bulunur.

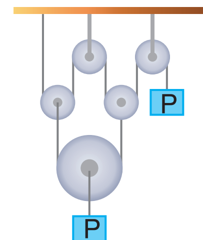


Sıra Sizde 1.54

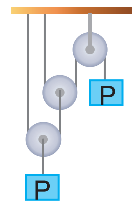
Şekil I, II ve III'teki sistemlerde P ağırlığındaki makaralar ve özdeş cisimler kullanılmıştır. Buna göre bu sistemlerden hangileri serbest bırakıldığında aynı şekilde dengede kalır? (Sürtünmeler önemsenmiyor.)



Şekil I

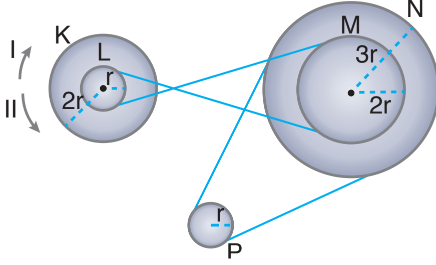


Şekil II



Şekil III

ÖRNEK 83



Yarıçapları sırasıyla 2r, r, 2r, 3r ve r olan K, L, M, N ve P kasnaklarından oluşan sistem şekildeki gibidir. K ile L ve M ile N kasnakları birbirine perçinlidir. K kasnağına I yönünde 2 devir yaptırıldığında, P kasnağı hangi yönde kaç devir döner?

ÇÖZÜM

K ve L birbirine perçinli olduğundan; $n_K = n_L = 2$ devir olur.

L, M'ye hareketi aktarır. Buna göre

$n_L \cdot r_L = n_M \cdot r_M$

$2 \cdot r = n_M \cdot 2r$

$n_M = 1$ devir bulunur.

M ve N birbirine perçinli olduğundan,

$n_M = n_N = 1$ devir olur.

N, P'ye hareketi aktarır. Buna göre

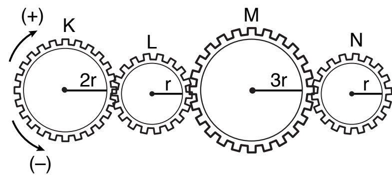
$n_N \cdot r_N = n_P \cdot r_P$

$1 \cdot 3r = n_P \cdot r$

$n_P = 3$ devir bulunur.

K ve L birbirine perçinli olduğundan aynı yönde dönerler. L ile M arasındaki kayış çapraz bağlandığından M, L'nin tersi yönde yani II yönünde döner. M ile N birbirine perçinli olduğundan aynı yönde yani II yönünde dönerler. N ve P birbirine normal bağlandığından aynı yönde dönerler. P kasnağı da II yönünde döner.

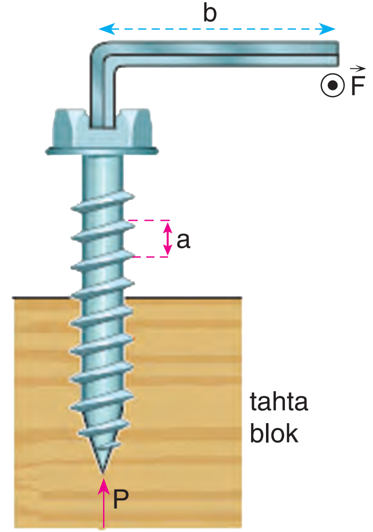
Sıra Sizde 1.55



Yarıçapları sırasıyla 2r, r, 3r ve r olan K, L, M ve N dişli çarklarından oluşan sistem şekildeki gibidir. K dişlisi (+) yönde 3 devir yaptığında N dişlisi hangi yönde kaç devir yapar?

ÖRNEK 84

Vida adımı a olan bir vida, b uzunluğundaki kola şekildeki gibi F kuvveti uygulanarak n kez döndürülüp tahta blok içerisinde h kadar ilerletiliyor.



$b = 8 \cdot a$ olduğuna göre;

a) Vidanın tahta blokta ilerlemesine karşı koyan P kuvveti kaç F kadardır?

b) "h" büyüklüğü hangi niceliklere bağlıdır? ($\pi = 3$ alınız.)

ÇÖZÜM

a) Vida için iş ve enerji eşitliğini yazabiliriz.

$F \cdot 2\pi \cdot r = P \cdot a$

$F \cdot 2\pi \cdot b = P \cdot a$

$F \cdot 2 \cdot 3 \cdot b = P \cdot a$

$\frac{F}{P} = \frac{a}{6b} = \frac{a}{6 \cdot 8a} = \frac{1}{48}$ bulunur.

Buna göre $P = 48F$ olur.

b) Vida 1 tur döndürüldüğünde tahta blok içerisinde 1 vida adımı (a) kadar ilerler. n tur döndürüldüğünde,

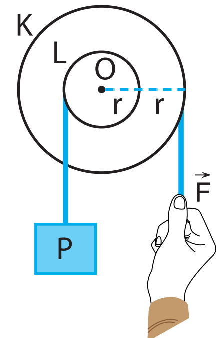
$h = n \cdot a$ olur.

Buna göre h büyüklüğü vida adımına (a) ve tur sayısına (n) bağlıdır.



Sıra Sizde 1.56

Yarıçapları r ve 2r olan K ve L silindirlerinin merkezi O noktasıdır. Sürtünmesiz sistemde ip F kuvvetiyle h kadar aşağıya çekiliyor. Buna göre P yükü kaç h yükselir?



1.10.3. Basit Makinelerden Oluşan Güvenli Bir Sistem Tasarlayalım

Günlük hayatta birçok basit makineyi kullandığımızın artık farkına vardık. İhtiyacımız olan durumlarda bu basit makinelerden birini veya birkaçını kullanarak yapacağımız işi kolaylaştırabiliriz.

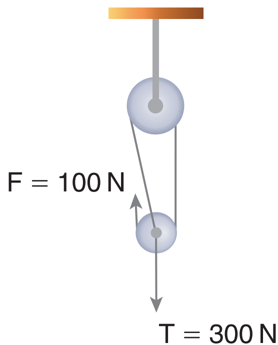
Günlük hayatı kolaylaştırmak ve karşılaşılan sorunlara çözüm yolları bulmak için siz de farklı fikirler geliştirip özgün tasarımlar yapıp yeni buluşlar ortaya çıkarabilirsiniz. Bu tür çalışmalarınızı proje yarışmalarına katılarak değerlendirmeniz hem kendi hem de ülkemizin kalkınması açısından çok önemlidir. Bir buluşunuzun olması durumunda Türk Patent Enstitüsüne başvurarak patentini alabilirsiniz. Patent buluş sahibine belirli bir süre için resmi makamlarca verilen, buluşun izinsiz olarak başkaları tarafından üretilmesini, kullanılmasını veya ticaretinin yapılmasını engelleme hakkıdır. Buluş sahibinin haklarının korunmasının yanı sıra patent sistemi ülke ekonomisini de olumlu etkiler.

Siz de çevrenizden elde edebileceğiniz atık malzemelerden (tuvalet kâğıdı veya kâğıt havlu rulosu, makaralar, pipetler, mandallar, pet bardaklar vb.) yararlanarak bu tür basit makinelerden oluşan sistemler tasarlayabilirsiniz. Bu konu ile ilgili internetten araştırmalar yapıp videolar izleyebilirsiniz.

ÖRNEK 85

İki sabit makara, bir hareketli makara ve bir eğik düzlem kullanarak 900 N ağırlığındaki bir yükü 100 N kuvvetle 1 m yükseltebileceğiniz bir basit makine sistemi kurunuz. (Sistemdeki sürtünmeleri ve basit makinelerin ağırlıklarını ihmal ediniz.)

ÇÖZÜM



1) İstenilen işi yapmak için birden fazla çözüm yolu üretilebilir. Öncelikle gerekli olan kuvvet kazancını bulalım.

$KK = \frac{G}{F} = \frac{900}{100} = 9$ olur.

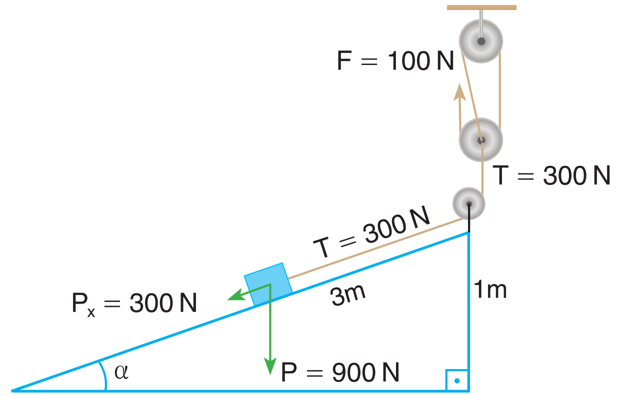
Bir sabit ve bir hareketli makarayı kullanarak ilk önce palanga yapalım. Bu palangada ipi şekildeki gibi doladığımızda kuvvet kazancı 3 olacağından hareketli makaranın altındaki ipte 300 N'lık

bir kuvvet elde edilir. Geriye $\frac{9}{3} = 3$ büyüklüğünde bir kuvvet kazancı ihtiyacı kalır. Eğik düzlemdeki kuvvet kazancı 3 olmalıdır. Eğik düzlem için,

$$KK = \frac{1}{\sin\alpha} \qquad \sin\alpha = \frac{h}{x}$$

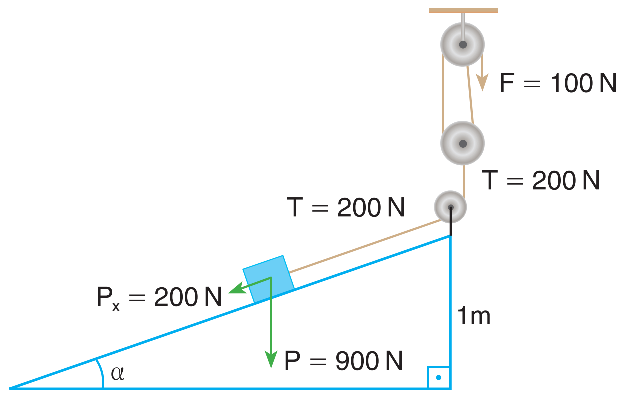
$$3 = \frac{1}{\sin\alpha} \qquad \frac{1}{3} = \frac{1}{x}$$

$$\sin\alpha = \frac{1}{3} \text{ ise}$$



x = 3 m uzunluğundaki bir eğik düzlem kullanılacağı sonucuna ulaşılır. Bu durumda kullanılacak sistem aşağıdaki gibi kurulabilir.

2) Bir sabit ve bir hareketli makara kullanılarak oluşturulan palangada ip sarımı farklı yapılarak şekildeki sistem de kullanılabilir. Fakat bu durumda palangadaki kuvvet kazancı 2 olacağı için eğik düzlemdeki kuvvet kazancı $\frac{9}{2} = 4,5$ olmalıdır. Bu durumda eğik düzlemin uzunluğu 4,5 m olmalıdır.



Aynı basit makineler farklı şekillerde kullanılarak farklı çözümler de üretilebilir.



Mini Performans

Basit makine sisteminlerinin kullanıldığı alanlarda iş sağlığı ve güvenliğini arttırıcı tedbirler alınmaktadır. Bu tedbirler hakkında bilişim teknolojilerinden yararlanarak sunum hazırlayınız.





1. ÜNİTE: 10. BÖLÜM DEĞERLENDİRME SORULARI

A. Aşağıdaki cümlelerde boş bırakılan yerleri uygun kelimeleri kullanarak tamamlayınız.

kasnak | iş | kerpeten | hareketli

kayıp | enerji | kazanç

1. Hem öteleme hem de dönme hareketi yapan makaralara .... makara denir.

2. ...., dönme hareketini daha uzaktaki bir noktaya kayış veya zincir yardımı ile ileten basit makinedir.

3. Bir basit makinede .... veya .... kazancı sağlanamaz.

4. Makas ve .... aynı tip kaldıraçlardır.

5. Eğik düzlemde yoldan .... vardır.

B. Aşağıdaki cümlelerin başına doğru ise "D", yanlış ise "Y" yazınız.

1. ( ) Kaldıraç sistemlerinin hepsinde kuvvet kazancı sağlanır.

2. ( ) Sürtünmelerin ve basit makine ağırlıklarının ihmal edildiği sistemlerde kuvvet kazancı oranında yoldan kayıp vardır.

3. ( ) Günlük hayatta bazı basit makineler %100 verimle çalışabilir.

4. ( ) Birbirine perçinlenmiş iki kasnak aynı yönde dönerler.

5. ( ) Vidayı sıkmak için kullanılan anahtarın kol uzunluğu artırılarak, vidanın bir turda daha fazla ilerlemesi sağlanır.

C. Aşağıdaki soruları cevaplayınız.

1. Günlük hayatınızda kullandığınız basit makinelere örnekler veriniz. Bu basit makinelerin kullanım amaçlarını belirtiniz.

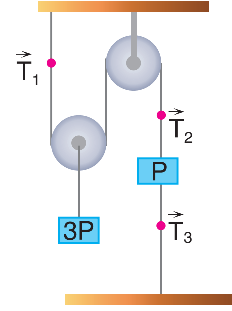
2. Bir vidanın tahta bir blokta ilerleme miktarı nelere bağlıdır? Açıklayınız.

3. Basit makinelerde kullanılan prensipler nelerdir?

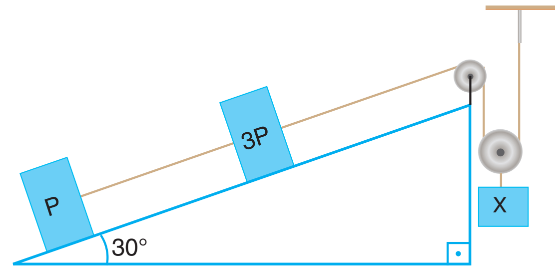
4. Desteğin uçta, yükün ortada ve kuvvetin diğer uçta olduğu kaldıraç tipine günlük hayatta kullanılan basit makinelerden örnekler veriniz.

Ç. Aşağıdaki problemleri çözünüz.

1. Ağırlıkları 3P ve P olan cisimler ile P ağırlıklı makaralardan oluşan şekildeki sistem dengededir. Buna göre $\vec{T}_1$, $\vec{T}_2$ ve $\vec{T}_3$ gerilmelerinin P cinsinden değerlerini bulunuz (Sürtünmeler önemsizdir.)



2. Eğik düzlem üzerindeki 3P ve P ağırlıklı cisimler ile P ağırlığındaki makaralardan oluşan şekildeki sistem dengededir. Buna göre; X cisminin ağırlığı kaç P kadardır? (Sürtünmeler önemsizdir. sin 30° = 0,5°)



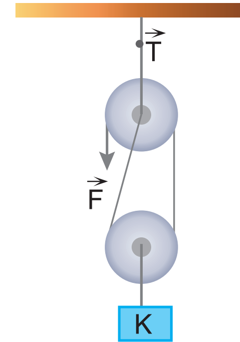
3. 120 N ağırlığındaki K cismi ağırlıkları 30'ar N olan sürtünmesiz makaralar ve $\vec{F}$ kuvveti ile şekildeki gibi dengededir.

Buna göre;

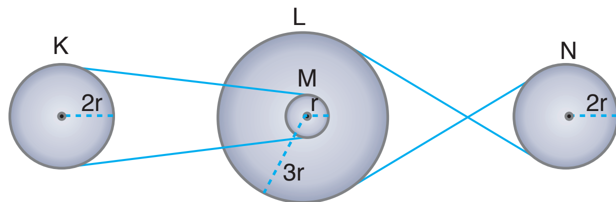
a) $\vec{F}$ kuvvetinin büyüklüğünü

b) Tavana bağlı ipteki gerilmeyi ($\vec{T}$)

c) Sistemin verimini bulunuz.

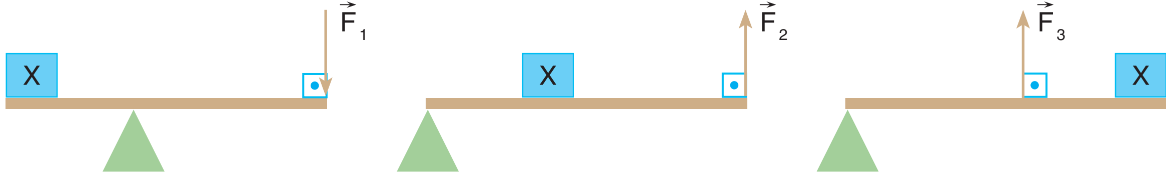


4. Yarıçapları şekildeki gibi verilen kasnaklardan L ve M eşmerkezlidir. K saat ibresinin yönünde 12 devir yaptığında diğer kasnakların hangi yönde kaçar devir yapacağını bulunuz.



D. Aşağıdaki test sorularını çözünüz.

1)



Ağırlığı önemsiz bir çubuk kullanılarak X cismi üç değişik şekilde dengede tutuluyor. Dengeleyici kuvvetler $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$ ve $\vec{F}_3$ olduğuna göre bu kuvvetler için verilen;

I. $F_2 > F_3$

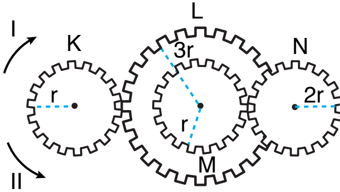
II. $F_2 = F_1$

III. $F_1 > F_3$

önermelerinden hangisi ya da hangileri doğru olabilir?

A) Yalnız I **B)** Yalnız II **C)** I ve III **D)** II ve III **E)** I,II ve III

2.



Yarıçapları sırasıyla r, 3r, r ve 2r olan K, L, M ve N dişli çarklardan oluşan sistem şekildeki gibidir. L ve M dişlileri birbirine perçinlenmiştir. K dişlisi I yönünde 6 devir yaptığında N dişlisi hangi yönde kaç devir yapar?

A) I yönünde 2 devir

B) II yönünde 2 devir

C) I yönünde 1 devir

D) II yönünde 3 devir

E) II yönünde 1 devir

1. ÜNİTE TARAMA SORULARI

A. Aşağıdaki cümlelerde boş bırakılan yerleri uygun kelimeleri kullanarak tamamlayınız.

yatay	bileşke	uç uca ekleme	sıfır
hızlanma	düşey	paralel	batı
45°	palanga	konum	

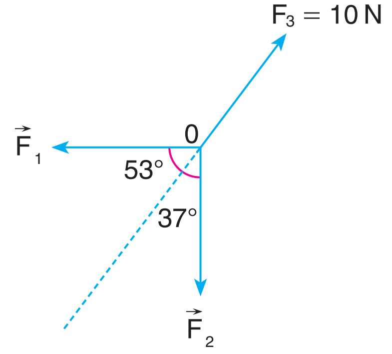
1. Bir cisme etki eden kuvvetlerin bileşkesi .... ise cisim dengededir.
2. Sabit ve hareketli makaralardan oluşan düzeneğe .... denir.
3. .... yöntemiyle iki veya daha fazla vektör toplanabilir.
4. Doğu yönünde giden bir araç, yol kenarında duran bir aracı .... yönünde gidiyormuş gibi görür.
5. Yatay atış hareketi yapan bir cismin, hareket süresince .... hızı sabittir.
6. .... bağlı yaylardan oluşan bir sistemde, yay sayısı arttıkça eşdeğer yay sabiti büyür.
7. Bir cismin ivmesinin artması, cismin .... anlamına gelmez.
8. Bir noktaya etki eden iki kuvvet arasındaki açı büyüdükçe .... küçülür.
9. .... - zaman grafiğinde eğimin sıfır olması cismin durduğunu gösterir.
10. Eğik atılan bir cismin menzilinin en büyük değerini alması için cismin .... açı ile eğik atılması gerekir.

B. Aşağıdaki cümlelerin başına doğru ise "D", yanlış ise "Y" yazınız.

1. ( ) Yatay düzlem üzerindeki bir cisme etki eden sürtünme kuvvetinin yönü, cismin hareketinin yönüne bağlı değildir.
2. ( ) Sürtünmesiz eğik düzlemde yoldan kayıp, kuvvetten kazanç vardır.
3. ( ) Bir cismin hız vektörü ile ivme vektörü aynı yönlü ise cisim hızlanıyor demektir.
4. ( ) Hava direncinin olmadığı bir ortamda, serbest düşmeye bırakılan bir cismin ivmesi hareket süresince artar.
5. ( ) Sabit hızla hareket eden bir aracın ivmesi sıfırdan farklı olabilir.
6. ( ) Yan yana giden iki bisikletliden biri diğerini duruyor görebilir.
7. ( ) Bir cismin momentum vektörüyle hız vektörü aynı yönlüdür.
8. ( ) Hareket hâlindeki bir cisim üzerine yapılan net iş sıfırdan farklı ise, cisim sabit hızla hareket ediyor demektir.
9. ( ) Eğik atış yaptırılan bir cismin maksimum yükseklikteki düşey hızı sıfırdır.
10. ( ) Irmakta yüzen bir kayığın kendi hızına, akıntı hızının eklenmesiyle kayığın suya göre hızı bulunur.

C. Aşağıdaki problemleri çözünüz.

1. Şekildeki gibi O noktasal cismine $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$ ve $\vec{F}_3$ kuvvetleri uygulandığında, cisim dengede kalmaktadır. Buna göre $\vec{F}_1$ ve $\vec{F}_2$ kuvvetlerinin büyüklüklerini bulunuz. $(\sin 37^\circ = 0,6; \cos 37^\circ = 0,8)$

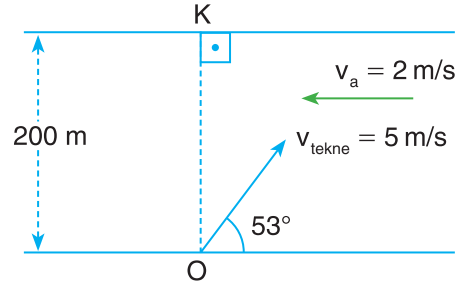


2. Akıntı hızının 2 m/s olduğu bir nehirde, suya göre hızı 5 m/s olan bir tekne, şekildeki gibi O noktasından harekete geçiyor.

Buna göre;

a) Teknenin karşı kıyıya geçme süresini,

b) Teknenin karşı kıyıya ulaştığı noktanın K noktasına uzaklığını bulunuz. $(\sin 53^\circ = 0,8; \cos 53^\circ = 0,6)$

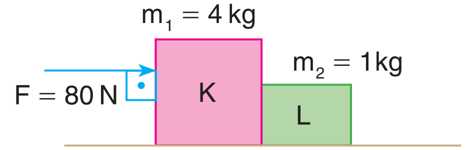


3. Kütleleri 4 kg ve 1kg olan K ve L cisimleri ile yatay düzlem arasındaki sürtünme katsayısı 0,2'dir. Cisimlere 80 N'luk kuvvet şekildeki gibi uygulanıyor. Cisimler harekete geçtikten sonra,

a) Cisimlerin ivmelerini,

b) K cisminin L cismine uyguladığı kuvveti

bulunuz. (g = 10 N/kg; statik ve kinetik sürtünme katsayılarını eşit alınız.)



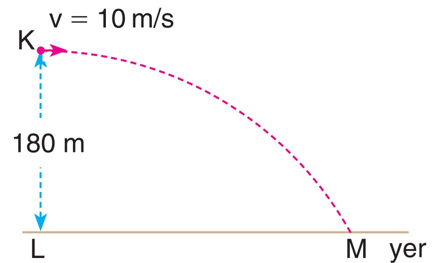
4. Yerden yüksekliği 180 m olan K noktasından yatay olarak 10 m/s hızla atılan cisim M noktasında yere çarpıyor. Buna göre cismin

a) Uçuş süresini,

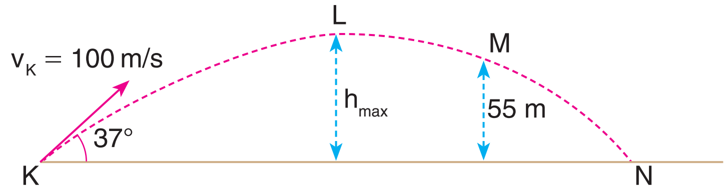
b) L-M uzaklığını,

c) Cismin yere çarpma hızını

bulunuz. (g = 10 N/kg, sürtünmeler ihmal ediliyor.)



5. Kütlesi 2 kg olan bir cisim K noktasından 100 m/s hızla şekildeki gibi eğik olarak atılıyor.



Buna göre;

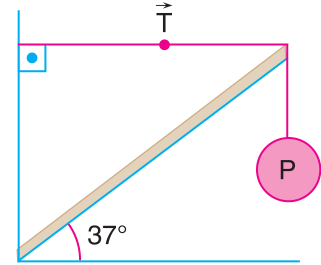
a) KL arasındaki momentum değişimini,

b) LM arasındaki momentum değişimini,

c) MN arasındaki momentum değişimini

bulunuz. (g = 10 N/kg, sürtünmeler ihmal ediliyor. $\sin 37° = 0,6; \cos 37° = 0,8$)

6. Ağırlığı 40 N olan türdeş çubuk ağırlığı 100 N olan P cismi ve bir iple şekildeki gibi dengededir. Buna göre ipteki gerilme kuvveti $(\vec{T})$ kaç N'dır? $(\sin 37° = 0,6; \cos 37° = 0,8)$

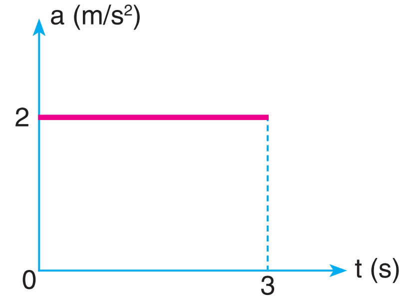


7. İlk hızı 4 m/s olan hareketlinin ivme–zaman grafiği şekildeki gibidir. Bu hareketlinin ilk 3 s için;

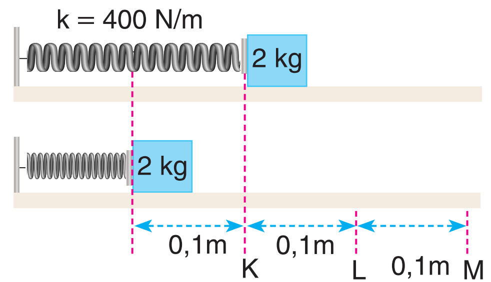
a) Hız-zaman grafiğini,

b) Konum-zaman grafiğini

çiziniz. (t = 0 anındaki ilk konumunu $x_0 = 0$ alınız.)



8. Yay sabiti 400 N/m olan esnek yay 0,1 m sıkıştırılıp 2 kg kütleli cisim şekildeki gibi yayın önüne konularak, serbest bırakılıyor. Yalnızca L ile M arası sürtünmeli ve cisimle yüzey arasındaki sürtünme katsayısı 0,5 dir. Cisim yaydan K noktasında ayrıldığına göre cismin K ve M noktalarından geçiş hızlarını bulunuz. (g = 10 N/kg alınız.)



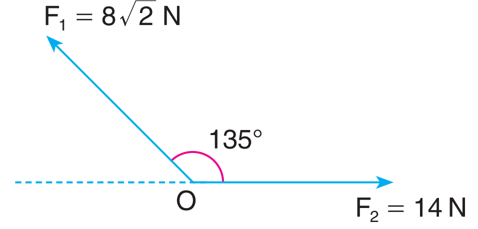
9. Yerden 60 m/s hızla yukarı yönde düşey olarak atılan cismin 9 s sonra,

a) Yerden yüksekliğini, **b)** Hızını

bulunuz. (g = 10 m/s² alınız. Hava direncini ihmal ediniz.)

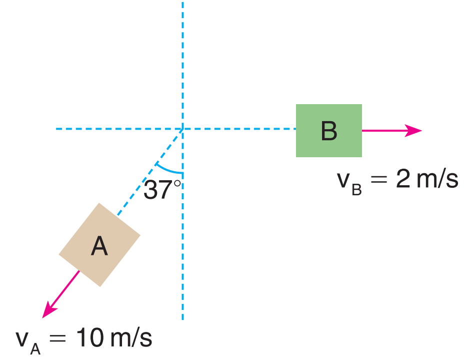
Ç. Aşağıdaki test sorularını çözünüz.

1. Şekildeki gibi O noktasına uygulanan aynı düzlemli $\vec{F}_1$ ve $\vec{F}_2$ kuvvetlerinin bileşkesi kaç N'dır?



A) 8 **B)** 10 **C)** 16 **D)** 22 **E)** 24

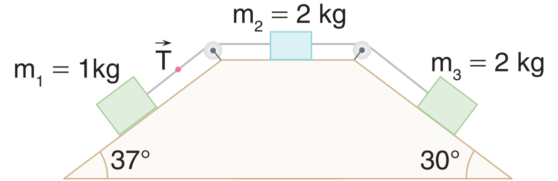
2. Yatay düzlemde yere göre hızları 10 m/s ve 2 m/s olan A ve B araçları şekildeki gibi hareket etmektedir. Buna göre B aracındaki bir gözlemci, A aracının hızını kaç m/s olarak görür? $(\sin 37° = 0,6; \cos 37° = 0,8)$



A) $8\sqrt{2}$ **B)** 12 **C)** $12\sqrt{2}$ **D)** 16 **E)** $16\sqrt{5}$

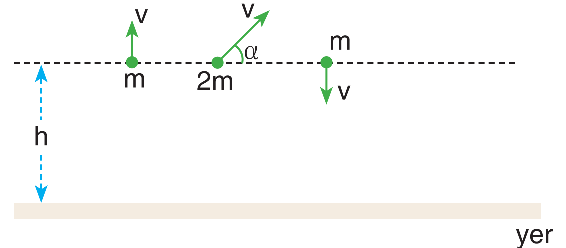
3. Sürtünmesiz sistemdeki m_1, m_2 ve m_3 kütleli cisimler serbest bırakılıyor. Buna göre $\vec{T}$ ip gerilmesi kaç N olur?

$(g = 10$ N/kg alınız. $\sin 37° = 0,6; \sin 30° = 0,5)$



A) 3,6 **B)** 6,8 **C)** 7,2 **D)** 12 **E)** 12,4

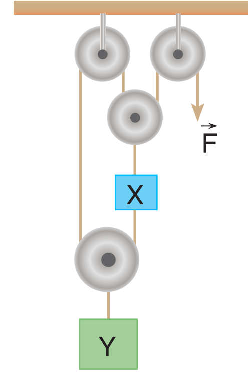
4. Kütleleri m, 2m ve m olan cisimler v hızıyla, h yüksekliğinden şekildeki gibi atılıyorlar. Buna göre cisimlerin yere çarpma hızlarının büyüklükleri sırasıyla v_1, v_2 ve v_3 arasındaki ilişki nasıldır? (Sürtünmeler ihmal ediliyor.)



A) $v_1 > v_2 > v_3$ **B)** $v_1 > v_3 > v_2$ **C)** $v_2 > v_1 = v_3$

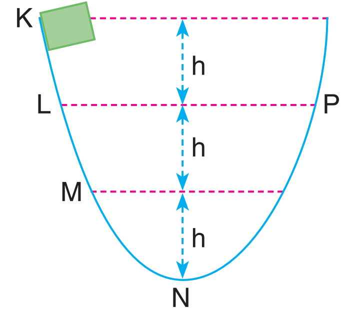
D) $v_3 > v_1 = v_2$ **E)** $v_1 = v_2 = v_3$

5. Makara ağırlıklarının ve sürtünmelerin ihmal edildiği şekildeki sistemde bulunan X ve Y cisimleri $\vec{F}$ kuvvetiyle dengelenmektedir. Buna göre, cisimlerin ağırlıkları oranı $\frac{G_X}{G_Y}$ kaçtır?



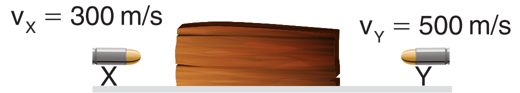
A) $\frac{1}{4}$ **B)** $\frac{1}{2}$ **C)** $\frac{2}{3}$ **D)** 1 **E)** 2

6. Düşey kesiti şekildeki gibi olan yolun K noktasından serbest bırakılan bir cisim P noktasına kadar çıkabilmektedir. Bu cisim P noktasından serbest bırakılsaydı nereye kadar çıkabilirdi? (Noktalar arasında sürtünmelere harcanan enerjiler eşittir.)



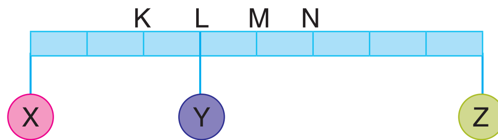
A) L noktası **B)** K-L arası **C)** M noktası **D)** L-M arası **E)** M-N arası

7. Yatay düzlemde duran 0,9 kg kütleli tahta takoza, kütleleri 50'şer gram olan X ve Y mermileri 300 m/s ve 500 m/s hızlarla saplanıyorlar. Cisimlerin çarpışma sonrası ortak hızları kaç m/s olur? (Sürtünmeler ihmal ediliyor.)



A) 5 **B)** 10 **C)** 200 **D)** 1000 **E)** 1200

8. Kütlesi 2m olan türdeş bir çubuğa kütleleri m olan X, Y ve Z cisimleri şekildeki gibi asılıyor. Çubuğun yatay dengede kalabilmesi için, hangi noktadan asılması gerekir?



A) K noktasından **B)** K-L aralığında **C)** L noktasından

D) L-M aralığından **E)** N noktasından



2. ÜNİTE

ELEKTRİK VE MANYETİZMA

- ELEKTRİKSEL KUVVET VE ELEKTRİK ALAN
- ELEKTRİKSEL POTANSİYEL ENERJİ VE ELEKTRİKSEL POTANSİYEL
- DÜZGÜN ELEKTRİK ALAN VE SIĞA
- MANYETİZMA VE ELEKTROMANYETİK İNDÜKLEME
- ALTERNATİF AKIM
- TRANSFORMATÖRLER

Aydınlatma, ısınma, iletişim, ulaşım, tıp gibi pek çok alanda elektrik ve manyetizma yasaları kullanılmaktadır. Televizyon, bilgisayar, otomobil, asansör, vinç, hızlı tren, yüksek-enerji hızlandırıcısı ve benzeri elektronik aygıtların çalışmasında elektrik ve manyetizma arasındaki ilişki en etkili unsurdur. Hayatımızı kolaylaştıran ve büyük bir bölümünü etkileyen elektrik enerjisinin, elektrik santrallerinden yerleşim merkezlerine iletilmesinde ve taşınmasında yaygın olarak alternatif akım kullanılır. Alternatif akımın gerilimi transformatörlerle azaltılabilir veya artırılabilir. Alternatif akımın oluşumu ve transformatörlerin çalışma ilkesi de elektrik ve manyetizma kanunları ile sağlanmaktadır.

2.1. ELEKTRİKSEL KUVVET VE ELEKTRİK ALAN

Bu bölümde;

- Elektrik yüklerinin uyguladıkları kuvvetleri,
- Elektriksel kuvvetlerin bağlı olduğu değişkenleri,
- Bir elektrik yükünün oluşturduğu elektrik alanı,
- Elektrik alanla elektriksel kuvvet arasındaki ilişkiyi,
- Elektriksel kuvvet ve elektrik alanla ilgili problemler çözmeyi öğreneceğiz.

Kavramlar

- Elektriksel kuvvet
- Coulomb (Kulon) Kanunu
- Coulomb Sabiti
- Elektriksel geçirgenlik
- Elektrik alan ve elektrik alan çizgileri

ELEKTRİKSEL KUVVET NE İŞE YARAR?

Semra ve Serkan, elektrik yüklerinin birbirini çektiğini veya ittiğini 10. sınıfta öğrenmişlerdi. Ancak bu kuvvetin ne işe yarayabileceği hakkında çok bilgileri yoktu. Birlikte bir kütüphaneye giderek küçük bir araştırma yapıp meraklarını gidermeye çalıştılar.

Karşılarına öyle çok kullanım alanı çıktı ki heyecanla sınıflarındaki arkadaşlarıyla paylaşmak için bazı notlar aldılar. Hatta kütüphane görevlisinin izniyle birkaç sayfanın fotokopisini çekip elektrostatik kuvvetleri ilk kez fark ederek kullandılar. Fotokopi makinesinde kullanılan tonerin kâğıda yapışarak tıpkıçekim gerçekleştirmesi (Görsel 2.1), lensin gözümüzde durması (Görsel 2.2), fabrika bacasından çıkan is ve kurum tozlarının tutulması (Görsel 2.3) gibi pek çok kullanım alanı olması Semra'yı ve Serkan'ı oldukça şaşırtmıştı. Bir kez daha fiziğin aslında günlük yaşamda ne kadar gerekli ve önemli olduğunu anladılar.



Görsel 2.1 *Fotokopi makinesindeki toner elektriksel kuvvetlerin etkisi ile kağıda yapışır.*



Görsel 2.2 *Lenslerde kullanılan plastik (etafilkon) gözyaşındaki protein moleküllerini elektriksel kuvvetlerle çeker.*



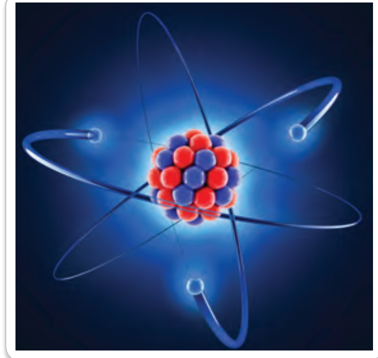
Görsel 2.3 *İs ve kurum tozları bacalarda elektrostatik kuvvetlerin yardımıyla tutulur.*

2.1.1.Elektriksel Kuvvet

10. sınıfta elektrostatikle ilgili bazı kavramları ve olayları öğrenmiştiniz. Aynı tür elektrik yüklerinin birbirini ittiğini, zıt yüklerin ise birbirini çektiğini öğrenmiş, bu olayı deneysel olarak da gözlemlemiştiniz.



***Görsel 2.4** Kullandığımız metallerin elektrostatik kuvvetler yardımıyla boyanması hem estetik hem sağlık açısından önemlidir.*



***Şekil 2.1** Elektronlar dönme etkisi ile çekirdekten uzaklaşmak isterken çekirdekteki protonlar tarafından çekilerek dengede tutulur.*

Elektriksel kuvvetler ve bu kuvvetlerin kullanımı günlük hayatta birçok uygulama alanı ile karşımıza çıkar. Semra'nın ve Serkan'ın araştırmasının sonucunda bu uygulamalardan bazılarını siz de öğrendiniz.



***Görsel 2.5** Saç boyası elektriksel çekim kuvvetleri ile saçlara yapışır.*

Elektrik yüklerinin uyguladıkları kuvvetlerin kullanım alanları bu kadarla sınırlı değildir. Şekil 2.1'deki atom çekirdeğindeki protonların, çekirdek etrafında dolanan elektronlara uyguladığı elektriksel çekim kuvveti, elektronların atomdan ayrılmasını önler. Görsel 2.5'teki saç boyasının saçlarımıza yapışması ve uzun süre saçımıza yapışık kalması, Görsel 2.4'teki metallerin toz boya ile boyanması, Görsel 2.6'daki iyon mikroskobunda çok küçük parçacıkların hatta atomların görüntülenebilmesi gibi olayların tamamında elektriksel kuvvetlerden yararlanılır.



***Görsel 2.6** İyon mikroskopları elektriksel kuvvetlerin kullanımı ile çok küçük parçacıkların daha net görülmesini sağlar.*

Eski Yunanlılar MÖ 700 yıllarında, kehribar parçalarının sürtülmesi ile saman, tüy gibi hafif nesneleri hareket ettirebildiklerini gözlemlediler. 1600 yılına gelindiğinde ise İngiliz William Gilbert (Vilyım Cilbırt), elektriklenmenin sadece kehribarda olmadığını, genellenebilir olduğunu insanlar da dâhil birçok cismi elektrikleyerek gösterdi.

Aranızda, dünyanın belki de en basit deneyini yapmayan kalmamıştır. Plastik bir kalemi ya da tarağı saçlarınıza sürtüp küçük kâğıt parçalarına yaklaştırdığınızda kâğıt parçalarının çekildiğini görmüşsünüzdür. Yaptığınız bu küçük deneyde bazen kâğıtların çok güçlü bazen de çok zayıf çekildiğini fark etmişsinizdir. Benzer biçimde bir televizyona yaklaştığınızda saçlarınız televizyon tarafından çekilerek dikleşebilir. Acaba bu elektriksel kuvvetin büyüklüğüne etki eden faktörler neler olabilir? Önce tahminlerinizi yapınız. Tahminlerinizi bir kağıda not alıp Deney 2.1'i yapınız. Deneyden sonra sonuçları, tahminlerinizle karşılaştırınız.



Deney 2.1

Araç Gereçler

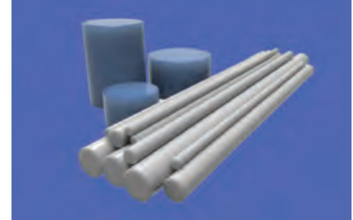
- 3 adet ebonit çubuk
- Bir parça yünlü kumaş
- Naylon iplik
- 1 adet üçayak
- 2 adet destek çubuğu
- 1 adet ikili bağlama parçası
- Karton levha

Elektriksel Kuvvetler

Amacı: Elektriksel kuvvetlerin büyüklüğüne etki eden faktörlerin belirlenmesi

Deneyin Yapılışı

1. Aşama





- 4-6 kişilik gruplar oluşturunuz.
- Destek çubuklarından birini yere dik olacak şekilde üçayağa bağlayınız. İkili bağlama parçasını kullanarak ikinci destek çubuğunu da yere paralel olacak şekilde birinci destek çubuğuna bağlayınız.
- Ebonit çubuklardan birini ip yardımı ile ortasından destek çubuğuna bağlayınız. Bağlarken çubuğun rahat dönebilecek şekilde olmasına dikkat ediniz.
- Bağladığınız ebonit çubuğu yünlü kumaşa 30 saniye sürterek elektrikle yükleyiniz.
- Diğer ebonit çubuklardan birini alıp onu da yünlü kumaşa 30 saniye sürterek elektrikle yükleyiniz.

➤ İkinci çubuğu, asılı olan çubuğa 10 cm kadar yaklaştırınız. Ne gözlemlediniz?

➤ Şimdi elinizdeki çubuğu asılı olan çubuğa 5 cm kadar yaklaştırınız. Önceki gözleminize göre ne fark oluştu?

➤ Elinizdeki ebonit çubuğun, asılı olan çubuğa farklı uzaklıklarda tutulması ile yaptığınız gözlemleri karşılaştırıp sebebini tartışınız.

2. Aşama

➤ Asılı olan ebonit çubuğa yüklü bir başka çubuğu 10 cm kadar yaklaştırınız.

➤ Üçüncü ebonit çubuğu da 30 saniye kumaşa sürtüp elektrikle yükleyiniz. Elektrikle yüklü iki çubuğu birlikte tutarak asılı olan çubuğa 10 cm kadar yaklaştırınız. Ne gözlemlediniz?

➤ Asılı çubuğa elektrik yüklü bir çubuk ve iki çubuk yaklaştırıldığında yaptığınız gözlemlerdeki fark nedir? Bu farkın sebebi ne olabilir? Tartışınız.

3. Aşama

➤ Asılı yüklü ebonit çubuğa yüklü diğer ebonit çubuk yaklaştırılmış durumdayken aralarına karton levhayı koyunuz.

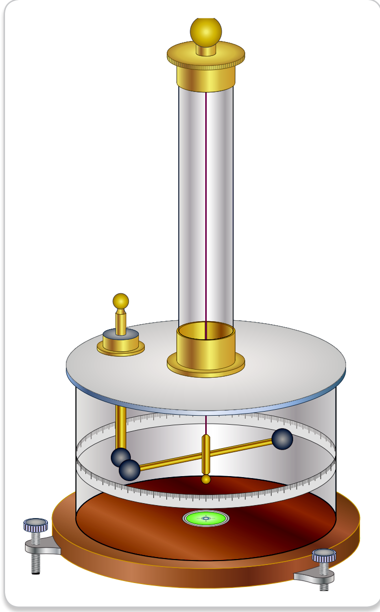
➤ Karton levha varken ve yokken her iki durumdaki gözlemlerinizi karşılaştırıp tartışınız.

Sonuca Varalım

3 aşamada yaptığınız bu deney sonucunda hangi farklılıkların elektriksel kuvvetin büyüklüğünde değişmeye neden olduğunu söyleyebilir misiniz?

Deney 2.1'de gördüğünüz gibi yüklerin de birbirine uyguladığı kuvvetler yük miktarlarına ve aralarındaki uzaklığa bağlı olarak değişir. Deneyde ebonit çubuklar arasına karton levha konulunca birbirine uyguladıkları elektriksel kuvvetin büyüklüğü azalmıştır.

Bizim burada genel olarak bulduğumuz sonuçları Charles Augustin de Coulomb (Çarls Ogustin dö Kulon), Şekil 2.2'deki burulma sarkacını kullanarak 1785 yılında detaylı olarak ölçtü ve bu ölçümleri matematiksel olarak ifade etti. Coulomb yaptığı deney sonrası durgun iki yükün birbirine uyguladığı elektriksel kuvvetin özelliklerini şu şekilde sıraladı: Elektriksel Kuvvet,



Şekil 2.2 *Charles Augustin de Coulomb, elektriksel kuvvetleri incelerken burulma sarkacını kullanmıştır.*

1. Cisimlerdeki yüklerin çarpımı ile doğru orantılıdır.

2. Yüklü cisimleri birleştiren doğru boyunca olup aralarındaki uzaklığın karesi ile ters orantılıdır.

3. Aynı işaretli yükler için itme, zıt işaretli yükler için çekme yönündedir.

4. Yüklerin arasındaki ortama bağlıdır.

Coulomb Kanunu'na göre elektriksel kuvvetin büyüklüğü cisimlerin yüklerinin çarpımı ile doğru, aralarındaki uzaklığın karesi ile ters orantılıdır. Bu kuvvetin büyüklüğü,

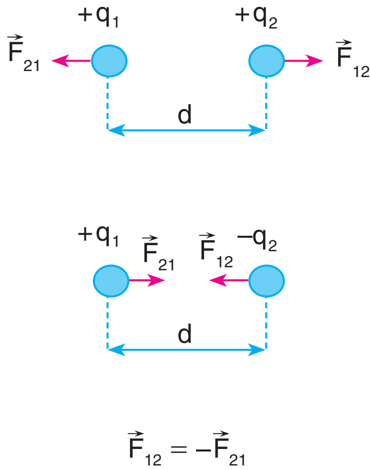
$F_e = k\dfrac{q_1 \cdot q_2}{d^2}$ şeklinde ifade edilir.

Bu ifadede,

$\mathbf{q_1}$ ve $\mathbf{q_2}$, yük miktarlarının büyüklüklerinin SI birim sisteminde birimi Coulomb (C),

k, Coulomb sabiti olup değeri yaklaşık $9 \cdot 10^9\ N \cdot m^2/C^2$,

d, yükler arasındaki uzaklık olup birimi m'dir. Elektriksel kuvvetler için birimler Tablo 2.1'de verilmiştir.



Deney 2.1'de yükler arasına konulan bir madde, yüklerin birbirine uyguladıkları kuvveti değiştirmekte idi. Bu değişkenlik k sabiti ile düzeltilebilmektedir. k sabiti, yükler arasında boşluk olduğundaki değerdir ve boş uzayın elektriksel geçirgenliği ε_0 olmak üzere $k = \dfrac{1}{4\pi\varepsilon_0}$ şeklindedir.

Boş uzay için $\varepsilon_0 = 8{,}85 \cdot 10^{-12}\ C^2/N \cdot m^2$ olup hava için de bu değer kullanılır. Yükler arasındaki maddenin elektriksel geçirgenliği arttıkça k katsayısı azalır. Boşluk ya da hava varken k olarak gösterilen sabit, arada başka madde varken k′ olarak gösterilir. Elektriksel geçirgenliği, boşluğunkinin 2 katı olan bir ortamda $k' = \dfrac{1}{4\pi \cdot 2\varepsilon_0} = \dfrac{k}{2}$ olur.

Tablo 2.1 *Elektriksel kuvvetler için birim tablosu*

Sabit (k)	Elektrik Yükü (q)	Yükler Arası Uzaklık (d)	Elektriksel Kuvvet (F_e)
$N \cdot m^2/C^2$	C	m	N



Okuma Parçası

CHARLES AUGUSTİN DE COULOMB
(14 Haziran 1736-23 Ağustos 1806)

Charles Augustin de Coulomb (Görsel 2.7) yaşamı boyunca, fizik, mühendislik ve deneysel aletleri geliştirmede önemli çalışmalar yaptı. Coulomb Fransa'nın Languedoc (Longudök) bölgesinde 1736 yılında doğdu ama gençlik yıllarının çoğu Paris ve Montpellier'da (Montepelıyır) geçti. 1760 yılında, 24 yaşındayken Fransa'da bir ordu mühendislik okuluna kabul edildi. Bu okulu tamamlandıktan sonra, askeri mühendis olarak önce Brest'e (Brest), 1764 yılında da Batı Hint Adaları'nda Martinik'e gönderildi. Orada adayı daha güvenli hale getirmek için yapılan bir kalenin inşa sorumlusu yapıldı.



Görsel 2.7 *Charles Augustin de Coulomb'un temsilî resmi*

Martinik'in havası ona iyi gelmedi. Burada da görev yaptığı dönemde çok hasta oldu. Dokuz yıl sonra bu sağlık sorunları nedeniyle Fransa'ya dönmek zorunda kaldı.

Coulomb, Fransa'ya döndükten sonra elektrikle ilgili araştırmalar yaptı. Bu araştırmaları sonunda burulma dengesini geliştirdi ve Coulomb Kanunu olarak bilinen kanunu keşfetti.

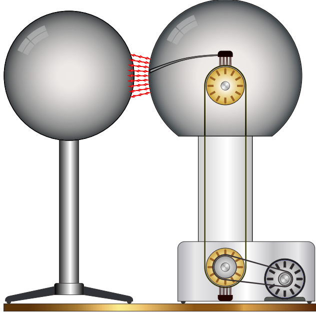


Okuma Parçası

VAN DE GRAAFF (VAN DÖ GRAF) JENERATÖRÜ

1930'lu yılların başlarında, atom hakkındaki görüşler kritik bir aşamaya gelmişti. Atomun parçalarının anlaşılması için kimya ve elektromanyetik alanlarından elektron hakkında, radyoaktivite alanından da çekirdek, proton ve nötron hakkında bilgilerin edinilmesi gerekmişti.

Atomlar, proton ve nötronlardan oluşan bir çekirdekle, etrafındaki elektron bulutlarından oluşuyor; dolayısıyla bu üç parçacık, maddenin temel yapı taşlarını oluşturuyordu. Atomun yapısı oldukça iyi anlaşılmış olduğuna göre sıra çekirdeğe gelmişti. İçine bir çomak sokulup neler olup bittiğine bakmak gerekmekteydi. Bu amaçla o zamana kadar, doğal



__Şekil 2.3__ Van De Graaff jeneratörünün çalışma prensibi

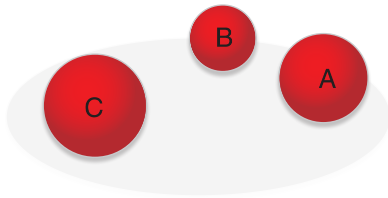


__Görsel 2.8__ Van de Graaff (1901-1967)

ve özellikle de radyoaktivite kökenli parçacıklar kullanılmıştı. Halbuki çekirdek, protonların birbirini itiyor olmasına karşın, her nasılsa çok sağlam bir yapıya sahipti. Dolayısıyla iç yapısının kurcalanabilmesi için doğal radyoaktivitenin sağlayabildiğinden daha girgin ve sağlam bir çomak arandı. Akla, yüklü parçacıkların hızlandırılıp çekirdeklere doğru yönlendirilmesi fikri geldi.

Van de Graaf (Görsel 2.8), kendi adıyla anılan elektrostatik jeneratörü (Şekil 2.3) imal etmiştir. Aygıt, iki palanga arasındaki dönen bir kayışla, kayışın alt tarafındaki bir deşarj odası ve üst tarafındaki metal bir küreden oluşmaktadır. Deşarj odasındaki yüksek gerilimle üretilen iyonların artı yüklü olanları kayışa yapışmakta ve kayış tarafından yukarıya taşınıp tel fırçalar aracılığıyla metal küreye aktarılmaktadır. Kürede biriken büyük miktardaki yükün daha sonra, yüklü parçacıkların hızlandırılması için gereken yüksek gerilimi sağlamakta kullanılması mümkündür. Prototip denemelerinde, $1.5 \cdot 10^6$ V gerilim düzeyine ulaşılır. Çok geçmeden kapasitesi 25 MeV'a çıkartılacak ve bunu, dünyanın çeşitli laboratuvarlarında kurulan değişik yapılardaki hızlandırıcılar izleyecektir.

ÖRNEK 1



Yüklü A parçacığı, yüklü B parçacığı tarafından F büyüklüğünde bir kuvvetle itilirken aynı ortamdaki ve aynı uzaklıktaki C parçacığı tarafından daha büyük bir F′ kuvveti ile çekilmektedir. A, B ve C parçacıkları için,

I. B ve C parçacıklarının yükleri zıt işaretlidir.
II. C parçacığının yük miktarı, B parçacığınınkinden daha büyüktür.
III. C parçacığının yük miktarı en büyüktür.

önermelerinden hangileri **kesinlikle** doğrudur?

ÇÖZÜM

I. A parçacığı, B tarafından itildiğine göre her ikisinin yükleri aynı işaretli olmalıdır. A parçacığı, C tarafından çekildiğine göre ikisinin yükleri zıt işaretli olmalıdır. Bu durumda B ve C parçacıklarının yükleri de zıt işaretli olmalıdır. I. önerme kesinlikle doğrudur.

II. A ve B yüklü parçacıkları için elektriksel çekim kuvvetini $F = k\frac{q_A \cdot q_B}{d^2}$ şeklinde,

A ve C yüklü parçacıkları için elektriksel çekim kuvvetini ise

$F' = k\frac{q_A \cdot q_C}{d^2}$ şeklinde yazabiliriz. $F' > F$ olduğuna göre

$k\frac{q_A \cdot q_C}{d^2} > k\frac{q_A \cdot q_B}{d^2}$ olur.

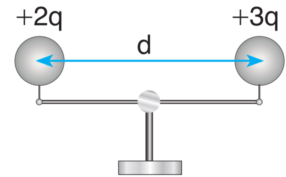
Gerekli sadeleştirmeler yapılırsa $q_C > q_B$ olur. II. önerme kesinlikle doğrudur.

III. II. önermeyi incelerken $k\frac{q_A \cdot q_C}{d^2} > k\frac{q_A \cdot q_B}{d^2}$ ifadesinde q_A eşitsizliğin her iki tarafında olduğu için sadeleştirilmişti. Bu yüzden A parçacığının yükünün büyüklüğü, diğer iki parçacığın yüklerinin büyüklükleri ile kesinlik ifadesi içinde karşılaştırılamaz. III. önermenin doğruluğu olabilir fakat kesin değildir. Cevap: I ve II olur.

ÖRNEK 2

Hava ortamında bulunan, yükleri +2q ve +3q olan iki parçacığın aralarındaki uzaklık d kadar iken birbirlerine uyguladıkları elektriksel kuvvetin büyüklüğü F kadardır.

Elektriksel geçirgenliği (ε), havanın elektriksel geçirgenliğinin 4 katı olan bir ortamda aralarındaki uzaklık 2d olan +4q ve –8q büyüklüğündeki iki yükün birbirine uyguladıkları elektriksel kuvvetin büyüklüğü kaç F olur?



ÇÖZÜM

Her iki durum için de yüklerin birbirlerine uyguladıkları elektriksel kuvvetin büyüklükleri Coulomb'un ifade ettiği formül üzerinde gösterilir. Ancak ortamlar değişik olduğu için öncelikle ikinci ortama ait k′ değerini k cinsinden ifade edelim.

$k = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}$ ve $k' = \frac{1}{4\pi \cdot 4\varepsilon_0} = \frac{k}{4}$ olur.

İlk durumdaki yükler için,

$$F = k\frac{q_1 \cdot q_2}{d^2} = k\frac{2q \cdot 3q}{d^2} = k\frac{6q^2}{d^2}$$

İkinci durumdaki yükler için,

$$F' = k'\frac{4q \cdot 8q}{(2d)^2} = \frac{k}{4} \cdot \frac{32q^2}{4d^2} = k\frac{2q^2}{d^2}$$ bulunur.

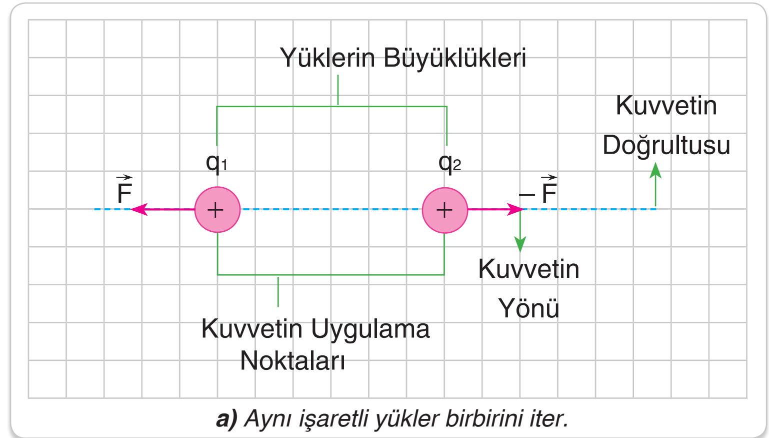
Bulunan bu kuvvet değerleri taraf tarafa oranlanırsa

$$\frac{F}{F'} = \frac{k\frac{6q^2}{d^2}}{k\frac{2q^2}{d^2}}$$ olur. Gerekli sadeleştirmeler yapılarak

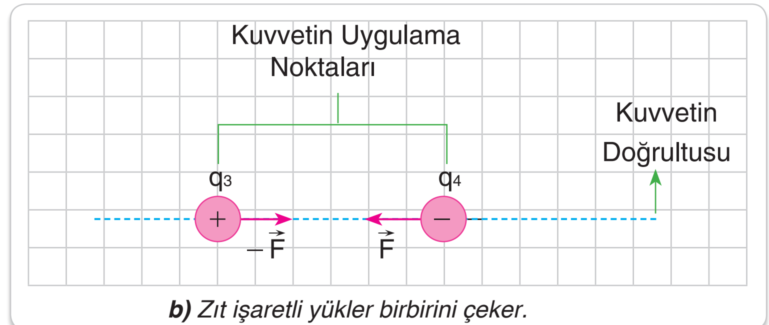
$\frac{F}{F'} = 3$ ve $F' = \frac{F}{3}$ bulunur.

Doğada serbest olarak bulunan yüklerin en küçüğü elektronun ya da protonun yüküne eşittir. Bu iki parçacığın yük miktarları eşit büyüklükte fakat zıt işaretlidir. Mutlak değer olarak bir elektronun ve bir protonun yükü yaklaşık $1,6.10^{-19}$ C'dur.

1 elektronun yükü (1 ey) $1,6.10^{-19}$ C olduğuna göre kaç ey 1 C'dur? Burada basit bir oran orantı ifadesi uygulanırsa $6,25 \cdot 10^{18}$ tane elektronun yükünün 1 C olduğu görülür.



***a)** Aynı işaretli yükler birbirini iter.*



***b)** Zıt işaretli yükler birbirini çeker.*

***Şekil 2.4** Yüklü cisimlerin birbirine uyguladıkları elektriksel kuvvetlerin gösterilmesi*

Şimdi elektriksel kuvvetinin özelliklerini ölçekli bir zemin üzerinde inceleyelim. Şekil 2.4.a'da aynı işaretli yüklerin, şekil 2.4.b'de ise zıt işaretli yüklerin birbirine uyguladıkları kuvvetler gösterilmiştir. Coulomb'un ifade ettiği kanunlara uygun olması için çizim yaparken

1. Kuvvetlerin yüklü parçacıkları birleştiren doğru üzerinde olmasına,

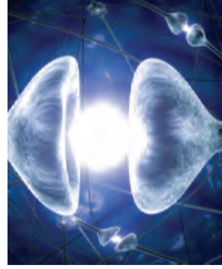
2. Kuvvetlerin uygulama noktasının yükler üzerinde olmasına,

3. Yüklü iki cismin birbirlerine uyguladıkları kuvvetlerin eşit büyüklükte ve zıt yönlerde olmasına dikkat edilmelidir.



Sıra Sizde 2.1

Yapılan bir deney sonucunda bir cismin yükünün $-2 \cdot 10^{-8}$ C olduğu hesaplanıyor. Bu cismin üzerindeki fazla elektron sayısını bulunuz. $\left(1\text{ey} = 1{,}6 \cdot 10^{-19}\ \text{C}\right)$



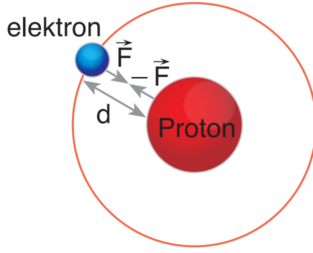
ÖRNEK 3

Hidrojen atomu, çekirdeğinde bir proton ve bu çekirdekten yaklaşık 0,5 Å uzaklıktaki yörüngede dönen bir elektrona sahiptir. Bu atomdaki parçacıkların birbirine uyguladıkları elektriksel kuvvetin büyüklüğünü bulunuz. (Elektronun ve protonun yük büyüklükleri birbirine eşittir. $1\text{ey} = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ C; $1\text{Å} = 10^{-10}$ m ve $k = 9 \cdot 10^{9}\ \text{N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2$)

ÇÖZÜM

Hidrojen atomunun modelini çizip proton ve elektron üzerine uygulanan elektriksel kuvvetleri gösterelim.

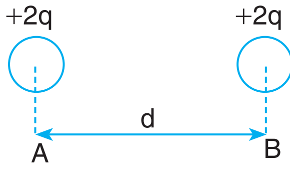
Elektriksel kuvvetin büyüklüğü; q_1, elektronun yükü; q_2, protonun yükü; d, aralarındaki uzaklık (elektron yörüngesinin yarıçapı) olmak üzere



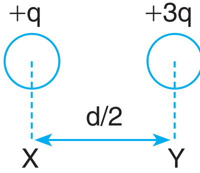
$$F = k\frac{q_1 \cdot q_2}{d^2}$$

$$F = 9.10^9 \cdot \frac{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}}{(0,5.10^{-10})^2}$$ ve $F = 9,216 \cdot 10^{-8}$ N bulunur. Bu büyüklükte bir kuvvet hem elektrona hem de protona uygulanmaktadır.

ÖRNEK 4



Şekil I



Şekil II

Şekil I'deki +2q yüklü A ve B cisimlerinin birbirine uyguladıkları elektriksel kuvvetin büyüklüğü F_1 kadardır. Şekil II'deki +q yüklü X ve +3q yüklü Y cisimlerinin birbirine uyguladıkları elektriksel kuvvetin büyüklüğü ise F_2 kadardır.

Buna göre $\frac{F_1}{F_2}$ oranı kaçtır?

ÇÖZÜM

Yüklü iki cismin birbirine uyguladığı elektriksel kuvvetin büyüklüğü $F = k\frac{q_1 \cdot q_2}{d^2}$ ile bulunur.

Şekil I'deki yüklerin birbirine uyguladığı kuvvet,

$$F_1 = k\frac{2q \cdot 2q}{d^2} = 4k\frac{q^2}{d^2}$$ olur.

Şekil II'deki yüklerin birbirine uyguladığı kuvvet,

$$F_2 = k\frac{q \cdot 3q}{\left(\frac{d}{2}\right)^2} = 12k\frac{q^2}{d^2}$$ olur

Buna göre

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{4k\frac{q^2}{d^2}}{12k\frac{q^2}{d^2}} = \frac{1}{3}$$ bulunur.



Sıra Sizde 2.2

X ve Y yüklü kürelerinin sırasıyla yükleri –3q ve +8q olup aralarındaki uzaklık d kadardır. Kürelerin yükleri daha sonra +2q ve +3q yapılarak aralarındaki uzaklık 2d olacak şekilde tekrar yerleştiriliyor. İlk durumda oluşan elektriksel kuvvetin büyüklüğü F_1 son durumda oluşan elektriksel kuvvetin büyüklüğü F_2 olduğuna göre;

a) $\frac{F_1}{F_2}$ oranını bulunuz.

b) İlk ve son durumda X ve Y cisimlerine etki eden kuvvetlerin yönleri için ne söylenebilir?

2.1.2. Noktasal Yüklerin Oluşturduğu Elektriksel Alan

Elektrik yüklü bir cisim ele alalım. Bu cisme, yüklü ikinci bir cisim yaklaştırıldığında cisimler birbirine kuvvet uygular. Oluşan kuvvetin büyüklüğünü ve yönünü Dünya'nın çekim alanına benzer bir yaklaşım kullanarak ilk kez Michael Faraday (Maykıl Faraday) kullanmış ve yüklü taneciklerin etraflarında bir elektrik alan oluşturduğunu ifade etmiştir. Faraday'ın düşüncesine göre yüklü bir tanecik, etrafında oluşturduğu bu elektrik alan içine giren diğer yüklü taneciklere bir kuvvet uygular.

Yüklü taneciklerin oluşturdukları elektrik alan, birim yük (+1 C) başına düşen elektriksel kuvvet olarak tanımlanır. Elektrik alan $\vec{E}$ ile gösterilir. Bir q yüküne uygulanan elektriksel kuvvetin büyüklüğü F_e ise +1 C yüke etki eden kuvvetin yani elektrik alanın büyüklüğü,

$E = \frac{F_e}{q}$ olur. Elektrik alan, bir q yükünün kendisinden d kadar uzaklıktaki +1 C yüke uyguladığı elektriksel kuvvet olarak da tanımlanabilir. Bu tanıma göre

$F_e = k\frac{q_1 \cdot q_2}{d^2}$ ifadesinde q_1 yerine q, q_2 yerine +1 C yazılırsa elde edilen kuvvet elektrik alana eşit olacağından

$E = k\frac{q}{d^2}$ elde edilir. Elektrik alanının birimi Tablo 2.2'de verilmiştir.

***Tablo 2.2** Elektrik alan için birim tablosu*

Elektriksel Kuvvet (F_e)	Elektrik Yükü (q)	Elektrik Alan (E)
N	C	N/C

Okuma Parçası



Görsel 2.9 Michael Faraday'ın (1791-1867) temsilî resmi

Michael FARADAY

Faraday, 22 Eylül 1791'de Londra'da doğdu (Görsel 2.9). Çocukluğunu yoksulluk içinde geçirdi. İlk öğretimden sonra okulu bırakıp çalışmak zorunda kaldı. 13 yaşında iken bir kitapçı ve ciltcinin yanında çalışmaya başladı. Bundan sonraki birkaç yıl Faraday için çok dolu geçti. Bir taraftan sanatı öğrenirken bir taraftan da doymak bilmez bir istekle bütün zamanlarını okumaya vermişti. Özellikle, kimya ve elektrik konularında ne bulursa okuyordu. Kısa bir zaman sonra kitapçılığı bırakıp bilimsel çalışmalara başladı.

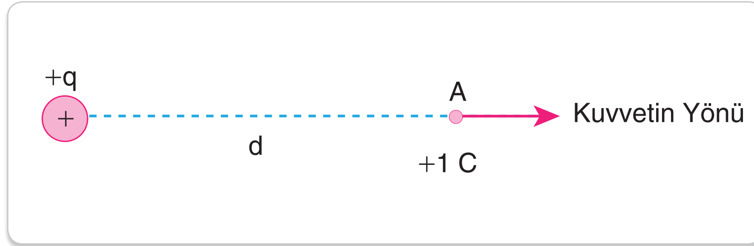
1815'ten itibaren Faraday'ın hayatı daimi bir gelişme içinde geçti. 1820'de bilinmeyen iki yeni klor çeşidi ve yeni bir karbon bileşimini buldu. 1821'de elektromanyetik konusunda ilk deneyleri yapıyordu. Bir elektrik akımının, bir mıknatısın bu akımı taşıyan tel etrafında dönmesine sebep olduğunu veya akım geçirilen bir telin sabit bir mıknatıs etrafında döndüğünü göstermişti. 1823'te, klor gazını, kendi basıncı vasıtasıyla sıvıya dönüştürmeyi başardı. 1823'te Kraliyet Cemiyeti'ne üye seçildi. İki yıl sonra da Kraliyet Enstitüsü Laboratuvar Müdürlüğü'ne getirildi. 1831 Kasım ayında, iletken bir tel, manyetik bir alana dik olarak hareket ettirildiğinde, elektromotor kuvvetin oluştuğunu gösterdi. Bu buluşuyla, Faraday, elektriğin yeni ve tükenmek bilmez kaynağını ortaya koyuyordu.

Dünya bilim tarihinin en büyük deney filozofu olan Faraday'ın deney ve buluşları saymakla bitmez. Yukarıda açıklananlardan başka jeoloji, optik cam, metalurji, mekanik, akustik ve ısı konularında da pek çok deney ve araştırma yapmıştır.

Elektrik alan +1 C yüke etki eden kuvvet olarak tanımlandığından herhangi bir q yükünün +1 C yüke uyguladığı kuvvetin yönü aynı zamanda elektrik alanın yönüdür.

Bir +q yükünün +1 C'luk yüke uyguladığı kuvvetin yönünü inceleyerek "+" yüklerin oluşturduğu elektrik alanın yönünü tespit edelim. +q yükü, +1 C'luk yüke itme yönünde bir kuvvet uygular.

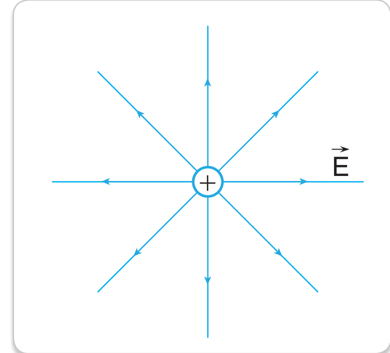
Şekil 2.5'te +q yükünden d kadar uzaklıktaki bir A noktasında oluşan bu kuvvetin yönü gösterilmiştir. Bu kuvvetin yönü aynı zamanda +q yükünün oluşturduğu elektrik alanın yönüdür. O hâlde "+" yüklerin oluşturduğu elektrik alanın yönü, yükten çıkıyor yönündedir." diyebiliriz. Bu şekilden çıkarabileceğimiz bir başka sonuç da "+" yüklü parçacıklara elektrik alan çizgileri ile aynı yönlü kuvvet uygulanacağıdır. +1 C luk yük A noktasına konulduğunda elektrik alanla aynı yönde hareket eder.



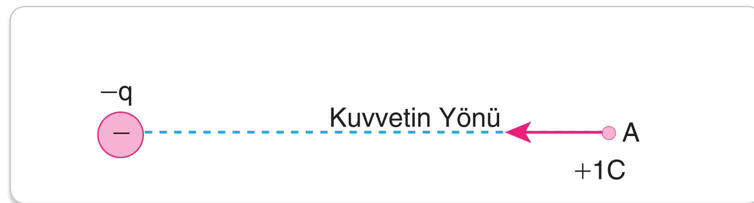
Şekil 2.5 *+q yükünün +1 C'luk yüke uyguladığı kuvvetin yönü*

"+" işaretli yüklerin oluşturduğu elektrik alan Şekil 2.6'da gösterildiği gibi olur.

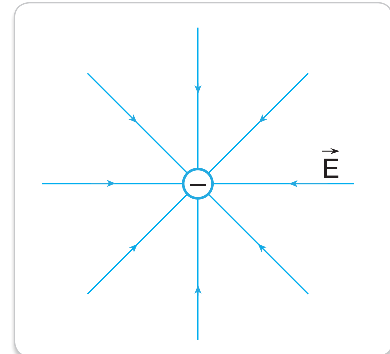
Şimdi ise bir –q yükünün +1 C'luk yüke uyguladığı kuvvetin yönünü inceleyerek "–" yüklerin oluşturduğu elektrik alanın yönünü tespit edelim. –q yükü, +1 C'luk yüke çekme yönünde bir kuvvet uygular. Bu kuvvet Şekil 2.7'de gösterilmiş olup "–" yüklerin oluşturduğu elektrik alanın yönü de bu kuvvetin yönündedir. Şekil 2.7'ye bakarak "–" yüklerin oluşturduğu elektrik alanın yönü, yüke giriyor yönündedir." diyebiliriz. A noktasına +1 C'luk yük konulursa elektrik alan çizgileri ile aynı yönde hareket eder.



Şekil 2.6 *"+" yüklü parçacığın oluşturduğu elektrik alan kuvvet çizgileri "+" yükten çıkıyor yönündedir.*



Şekil 2.7 *–q yükünün +1C'luk yüke uyguladığı kuvvetin yönü*



Şekil 2.8 *"–" yüklü parçacığın oluşturduğu elektrik alan kuvvet çizgileri "–" yüke doğru yönelmiştir.*

"–" işaretli yüklerin oluşturduğu elektrik alan Şekil 2.8'de gösterilmiştir.

Elektrik alanın ve elektrik alan çizgilerinin özelliklerini şu şekilde sıralayabiliriz:

1. Elektrik alan, birim yüke etki eden kuvvet olarak tanımlandığından vektörel bir büyüklüktür.

2. Elektrik alan şiddeti, yükten uzaklaştıkça azalır.

3. Elektrik alan çizgileri gerçekte var olmayan ancak problem çözümünde ve elektrik alanın uygulamalarında yardımcı olarak kullanılır. Bu yönüyle tıpkı Dünya'nın etrafında hayali olarak çizilen ekvator, meridyen ve paralel çizgilerine benzer.

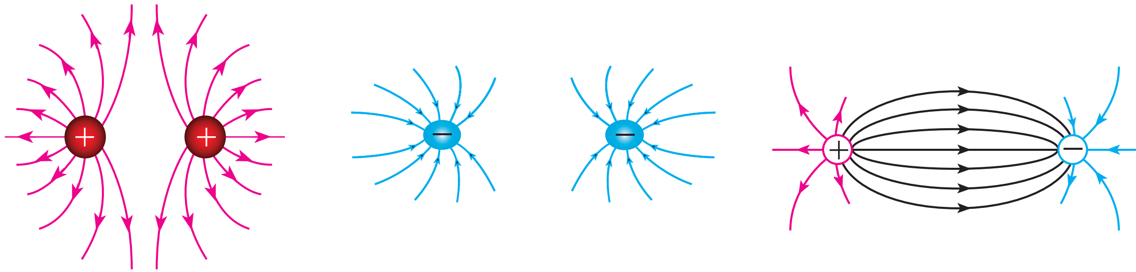
4. Elektrik alan çizgileri + yükten çıkıp – yükte sonlanır. Tek bir yük varsa elektrik alan çizgileri doğrusaldır.

5. Birden fazla yükün bir noktada oluşturduğu elektrik alan, sistemdeki tüm yüklerin o noktada ayrı ayrı oluşturdukları elektrik alanların bileşkesine eşittir.

6. Elektrik alan çizgileri yüklerin dışında hiçbir noktada birbirini kesmez. Çıktığı ya da girdiği yükün yüzeyine diktir.

Eşit büyüklükte yüke sahip iki cismin oluşturduğu elektrik alan çizgileri Şekil 2.9'da gösterilmiştir.

Bir üreteç devreye bağlandığında üretecin "+" ve "–" kutuplarındaki yükler bir elektrik alan oluşturur. Bu elektrik alanın yönü "+" yüklerden "–" yüklere doğrudur. Elektrik alan içindeki "–" yükler elektrik alanla zıt yönde harekete zorlanır.



a) *Eşit büyüklükte "+" yüklü iki cismin oluşturduğu elektrik alan çizgileri*

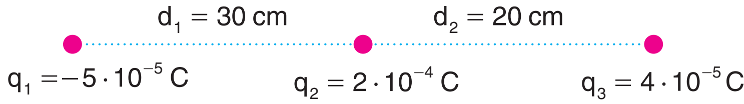
b) *Eşit büyüklükte "–" yüklü iki cismin oluşturduğu elektrik alan çizgileri*

c) *Eşit büyüklükte "+" ve "–" yüklü iki cismin oluşturduğu elektrik alan*

Şekil 2.9 *İki yükten oluşan sistemlerde elektrik alan çizgilerinin çizilmesi*

2.1.3. Elektriksel Kuvvet ve Elektrik Alan ile İlgili Hesaplamalar

ÖRNEK 5



Yatay sürtünmesiz bir düzlemde, aynı doğru üzerinde bulunan q_1, q_2, q_3 yükleri sırasıyla $-5 \cdot 10^{-5}$ C, $2 \cdot 10^{-4}$ C ve $4 \cdot 10^{-5}$ C dur. q_1 ve q_3 yükleri sabit tutulurken q_2 yükü şekildeki konumda serbest bırakılıyor. q_2 yüküne bırakıldığı ilk anda etki eden elektriksel kuvvet $\vec{F}$ ise bu kuvvetin büyüklüğü kaç Newton'dır? $(k = 9.10^9 \text{ N.m}^2/\text{C}^2)$

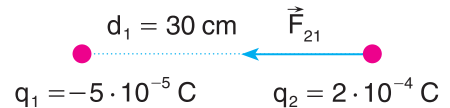
ÇÖZÜM

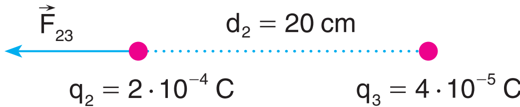
Bu sistemde tüm yükler birbirine elektriksel kuvvet uygulamaktadır. Ancak ilgilenilen kuvvet q_2 yükü üzerine etki eden toplam kuvvettir. q_2 yüküne, hem q_1 hem de q_3 yükleri elektriksel kuvvet uygulamaktadır.

Öncelikle q_1 yükünün q_2 yüküne uyguladığı kuvvetin yönünü ve büyüklüğünü bulalım.

q_1 ve q_2 yükleri zıt işaretli olup birbirini çekeceklerinden q_2 yükü üzerinde oluşan elektriksel kuvvet şekildeki gibi olur. Bu kuvvete $\vec{F}_{21}$ dersek büyüklüğü,

$$F_{21} = k\frac{q_1 . q_2}{d_1^2} = 9 \cdot 10^9 \frac{5 \cdot 10^{-5} \cdot 2 \cdot 10^{-4}}{(0,3)^2} = 1000 \text{ N bulunur.}$$





Şimdi de q_3 yükünün q_2 yüküne uyguladığı kuvvetin yönünü ve büyüklüğünü bulalım.

q_3 ve q_2 yükleri aynı işaretli olup birbirini iteceklerinden q_2 yükü üzerinde oluşan elektriksel kuvvet şekildeki gibi olur. Bu kuvvete $\vec{F}_{23}$ dersek büyüklüğü

$$F_{23} = k\frac{q_2 . q_3}{d_2^2} = 9 \cdot 10^9 \frac{2 \cdot 10^{-4} \cdot 4 \cdot 10^{-5}}{(0,2)^2} = 1800 \text{ N bulunur.}$$

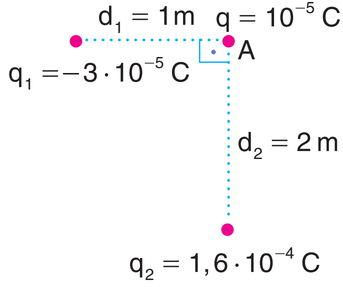
q_2 yüküne etki eden her iki kuvvet de $-x$ yönünde olduğu için bileşkeleri $F = F_{21} + F_{23} = 1000 + 1800 = 2800$ N bulunur.



Biliyor musunuz?

Yıldırım, canlılar ve yapılar için tehlikeli durumlara neden olan doğadaki en güçlü elektriksel boşalma olayıdır. Yıldırım, "Cumolo-Nimbus" isimli bulutların yeteri kadar elektrik yükü yüklenmesiyle başlar. Bu artış öyle bir noktaya gelir ki buluttaki yük ya iki bulut kümesi arasında ya da bulutla yeryüzü arasında boşalmak suretiyle nötr hâle gelir. Yıldırım akımı 2-200 kiloAmper (kA), gerilimi 100-1000 MegaVolt (MV) arasında değişen dolayısıyla gücü GigaWatt (GW) mertebelerinde olan, mikrosaniye (µs) mertebesinde sürelerde oluşup tamamlandıklarından enerjisi kilojoule (kJ) mertebesinde olan elektriksel boşalma olayıdır. Özellikle bulut ile yer arasında 2-3 km açıklıkta meydana gelir.

Bu yıldırımlardan korunmanın başlıca yolları Faraday Kafesi ve paratoner kullanmaktır. Faraday Kafesi oldukça iyi bir koruma sağlamasına rağmen maliyetinin yüksekliği kullanım alanlarını sınırlandırmaktadır.



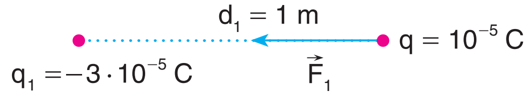
ÖRNEK 6

Yatay ve sürtünmesiz düzlemdeki q_1 ve q_2 yüklerinin A noktasındaki q yüküne uyguladığı toplam kuvvetin büyüklüğünü ve yönünü bulunuz.

$(k = 9 \cdot 10^9 \, N \cdot m^2/C^2)$

ÇÖZÜM

Önce q_1 yükünün q yüküne uyguladığı kuvvetin yönünü ve büyüklüğünü bulalım.



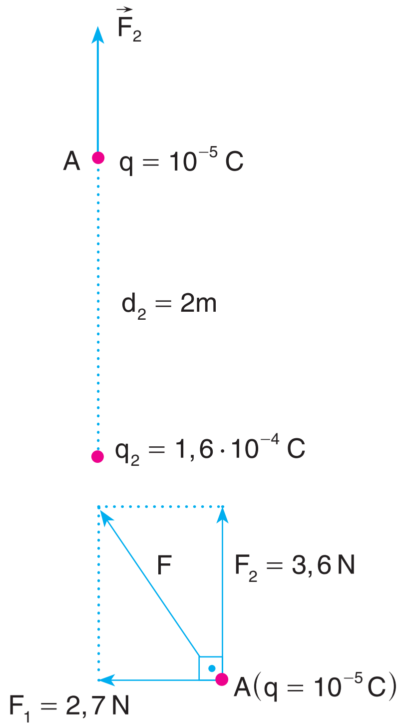
Zıt işaretle yüklü cisimler birbirini çeker. q yükü üzerine, q_1 yükünün uyguladığı kuvvet şekildeki gibi olur. Bu kuvvete $\vec{F}_1$ denilirse

$$F_1 = k\frac{q_1 . q}{d_1^2}$$

$$= 9 \cdot 10^9 \frac{3.10^{-5} \cdot 10^{-5}}{(1)^2}$$

$$= 2,7 \, N \text{ olur.}$$

q_2 yükünün q yüküne uyguladığı kuvvetin yönünü ve büyüklüğünü de bulalım.



q_2 ve q yüklerinin işaretleri aynı olduğundan birbirini iter. q_2 yükü üzerine q_2 yükünün uyguladığı kuvvet şekildeki gibi olur. Bu kuvvete $\vec{F}_2$ denilirse

$$F_2 = k\frac{q_2 . q}{d_2^2} = 9.10^9 \frac{1,6 \cdot 10^{-4} \cdot 10^{-5}}{(2)^2} = 3,6 \, N \text{ olur.}$$

q yükü üzerine etki eden ve birbirine dik olan bu kuvvetlerin bileşkesi aynı zamanda bu yüke uygulanan toplam (net) kuvvettir.

Bu iki kuvvetin bileşkesinin büyüklüğü

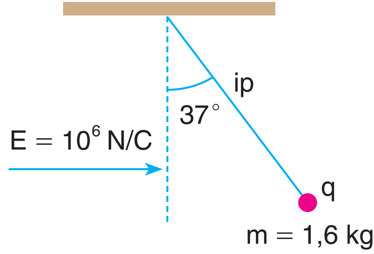
$$F^2 = F_1^2 + F_2^2$$

$$F^2 = (2,7)^2 + (3,6)^2$$

$$F^2 = 20,25 \text{ ise } F = 4,5 \, N \text{ bulunur.}$$

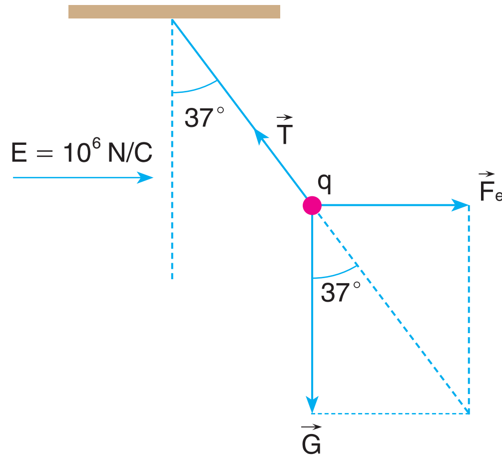
ÖRNEK 7

Kütlesi 1,6 kg olan yalıtkan bir iple tavana bağlı yüklü cisim şekildeki gibi 10^6 N/C büyüklüğünde bir elektrik alan içindeyken düşeyle 37° açı yapacak şekilde dengede kalıyor. Buna göre cismin yükünün işaretini ve büyüklüğünü bulunuz.
($g = 10$ N/kg alınız. $\tan 37° = \frac{3}{4}$)



ÇÖZÜM

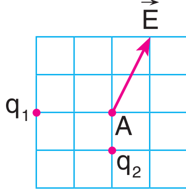
Problemin çözümüne hazırlık olarak cismin üzerine etki eden kuvvetleri çizelim.



Cismin bu şekilde dengede kalabilmesi için elektriksel kuvvet, elektrik alan ile aynı yönlü olmalıdır. Yüke, elektrik alanla aynı yönde bir kuvvet etki ettiğine göre yükün işareti +'dır.

Cisim şekildeki gibi dengede olduğundan üzerine etki eden net kuvvet 0 (sıfır)'dır. $\vec{T} = \vec{G} + \vec{F}_e$ olur.

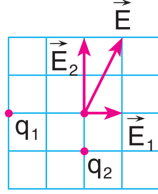
Şekle göre $\tan 37° = \frac{F_e}{G} = \frac{3}{4}$ Bu eşitlikte $F_e = q.E$ ve $G = mg$ yazılırsa $\frac{3}{4} = \frac{q.E}{mg} = \frac{q.10^6}{1,6 \cdot 10}$ Buradan cismin yükü $q = 1,2 \cdot 10^{-5}$ C bulunur.



ÖRNEK 8

Eşit bölmeli zemin üzerindeki q_1 ve q_2 yüklerinin A noktasında oluşturdukları bileşke elektrik alan şekildeki gibidir. Buna göre yüklerin oranı, $\frac{q_1}{q_2}$ yi bulunuz.

ÇÖZÜM

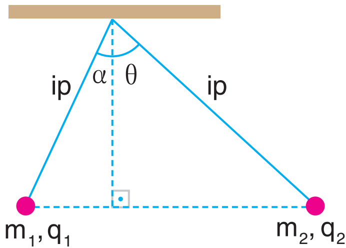


Bileşke elektrik alan q_1 ve q_2 yüklerinin oluşturdukları elektrik alanların bileşkesidir. Elektrik alan, yük ile noktayı birleştiren doğrultuda olacağından q_1 yükünün oluşturduğu elektrik alan $\vec{E}_1$ ve q_2 yükünün oluşturduğu elektrik alan $\vec{E}_2$ şekildeki gibidir. Bu iki elektrik alanın yönü de yüklerden dışarı doğru olduğu için her iki yük de "+" işaretlidir. Ayrıca bu elektrik alanların büyüklükleri arasındaki ilişki ise $E_2 = 2E_1$ şeklindedir.

$E_1 = k\frac{q_1}{(2d)^2}$ ve $E_2 = k\frac{q_2}{d^2}$ yazılırsa

$k\frac{q_2}{d^2} = 2 \cdot k\frac{q_1}{4d^2}$ elde edilir. Burada gerekli sadeleştirmeler yapılırsa $\frac{q_1}{q_2} = 2$ olur.

ÖRNEK 9



Yükleri q_1 ve q_2; kütleleri m_1 ve m_2 olan iki cisim yalıtkan iplerle tavana aynı noktadan bağlandıklarında $\theta > \alpha$ olacak şekilde dengede kalıyorlar. Buna göre;

I. q_2 yüküne uygulanan elektriksel kuvvet daha büyüktür.

II. Cisimlerin yüklerinin işareti aynıdır.

III. $m_1 > m_2$ dir.

Önermelerinden hangisi ya da hangileri **kesinlikle** doğrudur?

ÇÖZÜM

I. İki yüklü cismin birbirine uygulayacağı elektriksel kuvvetler daima eşit büyüklükte olur. Bu yüzden I. önerme yanlış olur.

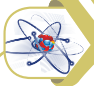
II. Cisimlerin bu şekilde dengede kalabilmesi için birbirini itmesi gerekir. Birbirini itmesi için de yüklerinin işareti aynı olmalıdır. II. önerme doğrudur.

III. Her iki cisme de eşit büyüklükte elektriksel kuvvet etki ettiğinden

$\tan\alpha = \dfrac{F}{m_1 \cdot g}$ $\tan\theta = \dfrac{F}{m_2 \cdot g}$ olur. $\theta > \alpha$ olduğu için $\tan\theta > \tan\alpha$ ve buradan $m_1 > m_2$ elde edilir. **III.** önerme doğrudur.

Bu durumu, tavana iplerle asılmış farklı kütleli iki cisim olarak ele alalım. Cisimlere eşit büyüklükte kuvvetler uyguladığımızda hafif olan cisim düşeyle daha fazla açı yapacak şekilde durur.

Cevap II ve III olur.



Mini Performans

Aralarında d kadar uzaklık bulunan q_1 ve q_2 yüklerinin yakınına

a) $+2q$ büyüklüğündeki yük q_1 yükünden kaç d uzağa konulursa dengede kalır?

b) $-5q$ büyüklüğündeki yük q_1 yükünden kaç d uzağa konulursa dengede kalır?

c) q_1 ve q_2 yüklerinin oluşturduğu bileşke elektrik alanın 0 (sıfır) olduğu noktanın q_1 yükünden kaç d uzaklıkta olduğunu bulunuz.

ç) Aynı işlemleri $q_1 = -9q$ ve $q_2 = +4q$ için tekrar yapınız.

d) Bulduğunuz sonuçları analiz ederek değerlendiriniz.





Mini Performans

9. sınıfta doğadaki temel kuvvetlerin neler olduğunu öğrenmiştiniz.

Şimdi bu dört temel kuvvetin etki alanlarını ve birbirlerine göre büyüklük mertebelerini araştırıp kısa bir sunu hazırlayınız. Elde ettiğiniz sonuçları arkadaşlarınızla tartışıp yorumlayınız.



2. ÜNİTE: 1. BÖLÜM DEĞERLENDİRME SORULARI

A. Aşağıdaki cümlelerde boş bırakılan yerleri uygun kelimeleri kullanarak tamamlayınız.

aynı | coulomb | vektörel | zıt

N/C | elektriksel kuvvet | elektrik alan

1. .... işaretli yüklü cisimler birbirini çeker, ... işaretli yüklü cisimler birbirini iter.

2. Elektrik alan .... bir büyüklüktür.

3. Elektrik yük birimi .... dur.

4. Birim yüke uygulanan kuvvete .... denir.

5. İki yüklü cisim arasına dielektrik sabiti havadan büyük bir madde konulursa .... azalır.

B. Aşağıdaki cümlelerin başına doğru ise "D", yanlış ise "Y" yazınız.

1. ( ) Yüklü cisimler nötr cisimleri çekebilir.

2. ( ) Yüklü iki cisimden, yükü büyük olan diğerine daha büyük bir elektriksel kuvvet uygular.

3. ( ) Yüklü cisimlerin birbirbine uyguladığı elektriksel kuvvetler eşittir.

4. ( ) Elektrik alanın sıfır olduğu bir noktaya konulan cismin yükü ne olursa olsun üzerine bir elektriksel kuvvet uygulanmaz.

5. ( ) "+" yüklere elektrik alanla aynı yönde, "–" yüklere elektrik alanla zıt yönde bir elektriksel kuvvet etki eder.

C. Aşağıda verilen soruları cevaplayınız.

1. Coulomb Kanunu'nu açıklayınız.

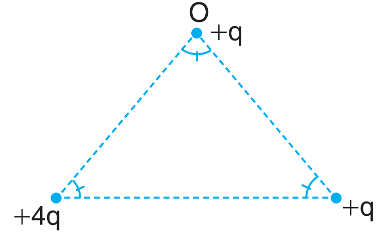
2. Elektrik alan nedir? Yüklü noktasal parçacıkların elektrik alanı hakkında bilgi veriniz.

3. Elektriksel kuvvet vektörü ve elektrik alan vektörü arasında nasıl bir ilişki vardır? Açıklayınız.

Ç. Aşağıdaki problemleri çözünüz.

1. Eşkenar bir üçgenin köşelerinde bulunan +q yüklü noktasal cisimlerin birbirine uyguladıkları elektriksel kuvvetin büyüklüğü F kadardır.

O noktasındaki +q yüküne uygulanan toplam elektriksel kuvvetin büyüklüğü kaç F olur? $\left(\cos 60^\circ = \frac{1}{2}\right)$



2. Yatay ve sürtünmesiz düzlemde sabit tutulan –2q ve +8q yüklerinin yakınına, başka bir yüklü cisim konulduğunda hareketsiz kaldığı gözlemleniyor.

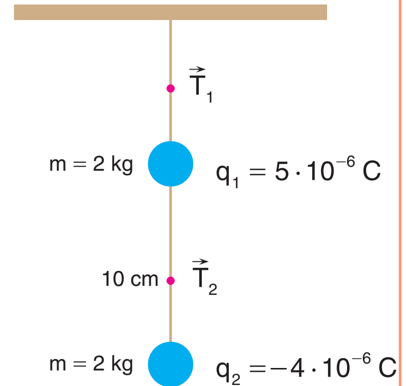
Buna göre bu yük +8q yükünden kaç d uzaklığa konulmuştur?



3. 2 kg kütleli cisimlerin yükleri $q_1 = 5 \cdot 10^{-6}$ C ve $q_2 = -4 \cdot 10^{-6}$ C olup şekildeki gibi durmaktadırlar.

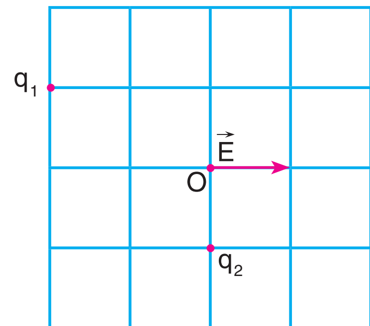
İplerde oluşan $\vec{T}_1$ ve $\vec{T}_2$ gerilmelerinin büyüklüklerini bulunuz.

($g = 10$ N/kg alınız. $k = 9 \cdot 10^9$ N·m²/C²)



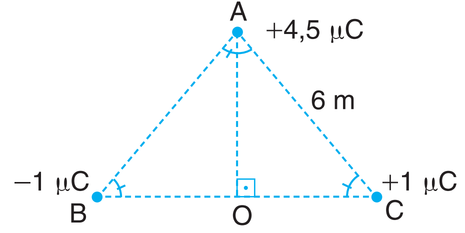
4. Eşit bölmeli zemin üzerinde gösterilen q_1 ve q_2 yüklerine sahip noktasal cisimlerin O noktasında oluşturduğu bileşke elektrik alan şekildeki gibidir.

Buna göre q_1/q_2 oranı kaçtır?



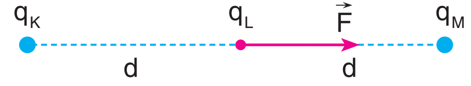
D. Aşağıdaki test sorularını çözünüz.

1. Bir kenarının uzunluğu 6 m olan eşkenar üçgenin köşelerine şekildeki gibi üç yük yerleştiriliyor. O noktasında oluşan elektrik alanın büyüklüğü kaç N/C olur? $(k = 9 \cdot 10^9\ N \cdot m^2/C^2)$



A) 500 **B)** 1000 **C)** 1500 **D)** 2500 **E)** 5000

2. Sabit tutulan q_K ve q_M yüklerinin tam ortasına q_L yükü konulunca bu yüke etki eden net kuvvet şekildeki gibi oluyor. K'nin L'yi ittiği bilindiğine göre aşağıdaki önermelerden hangisi ya da hangileri doğrudur?



I. L ve M kesinlikle zıt işaretlidir.

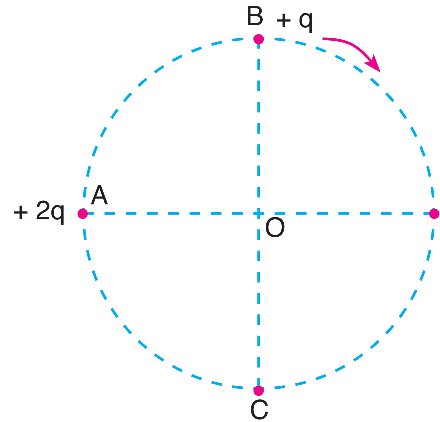
II. K ve L kesinlikle aynı işaretlidir.

III. K ve M aynı işaretli ise K'nin yükü M'nin yükünden daha büyüktür.

A) Yalnız I **B)** Yalnız II **C)** I ve II **D)** II ve III **E)** I, II ve III

3. Yatay zemin üzerinde dairesel şekil üzerindeki +2q ve +q yüklerinin konumları şekildeki gibidir. A noktasındaki +2q yükü sabit tutulurken B noktasındaki +q yükü daire üzerinde ok yönünde hareket ettirilerek C noktasına getiriliyor.

Yükün hareketi boyunca O noktasındaki bileşke elektrik alanın büyüklüğü hakkında aşağıdakilerden hangisi söylenebilir?



A) Değişmez. **B)** Sürekli azalır. **C)** Sürekli artar.

D) Önce azalır, sonra artar. **E)** Önce artar, sonra azalır.

2.2. ELEKTRİKSEL POTANSİYEL ENERJİ ve ELEKTRİKSEL POTANSİYEL

Bu bölümde;

- Elektrik yüklerinin oluşturduğu potansiyel enerjiyi,
- Elektrik yüklerinin oluşturduğu potansiyelleri ve potansiyel farkı,
- Elektrik yüklerinin yaptıkları işleri,
- Elektriksel potansiyel enerji, elektriksel potansiyel, potansiyel fark, elektrik yüklerinin yaptıkları işlerle ilgili problemler çözmeyi öğreneceğiz.

Kavramlar

- Elektriksel potansiyel enerji
- Elektriksel potansiyel
- Potansiyel fark
- Eş potansiyel
- Elektriksel iş

HAYATIMIZDAKİ ELEKTRİK

Şeyma, birinci sınıfa giden kardeşi için harçlığından biriktirdiği para ile uzaktan kumandalı araba (Görsel 2.10) almıştı. Ancak araba kutusunun üzerinde, kutuda pil olmadığı yazıyordu. 11. sınıf öğrencisi olan Şeyma, arabanın hareketini sağlamak için enerji gerektiğini biliyordu. Görsel 2.11'deki gibi o kadar çok pil çeşidi vardı ki hangisini alacağını bilmediğinden mağazadaki satış sorumlusuna danıştı. Satış sorumlusu araba için 2 adet, kumanda için 2 adet olmak üzere 4 pile ihtiyacı olduğunu söyledi. Pillerin hepsinin de 1,5 V olması gerektiğini ancak araba için AA, kumanda için AAA boyutunda piller alması gerektiğini de ekledi.

Şeyma'nın aklına telefonlardaki enerji kaynağının da piller olduğu ve bu pillerin şarj edilebilir olduğu geldi. Sınıfındaki bir arkadaşından duymuştu. Oyuncaktaki piller sık sık biteceği için şarj edilebilir piller ve bu pilleri tekrar doldurmak için şarj cihazı almaya karar verdi. Mağazadaki satış sorumlusuna teşekkür edip ayrıldı.

Eve gidene kadar aklına bazı sorular geldi:

- Pilin üzerinde 1,5 V, 3 V, 9 V yazıları ne anlama geliyordu?
- Pil, arabanın hareketini sağladığına göre bir enerji kaynağı sayılır mı?
- Pilin bitmesi ne demekti?

Ortaokulda gördüğü fen bilimleri dersi ile lisede gördüğü fizik dersi bu konuda bazı bilgiler edinmesini sağlamıştı. Ama öğrenecek daha çok şey vardı.



Görsel 2.10 *Uzaktan kumandalı arabanın hareket edebilmesi için hem kumandaya hem de arabaya enerji kaynağı olarak pil takılmalıdır.*



Görsel 2.11 *Enerji kaynağı olarak kullanılan piller farklı boyutlarda olabilir. Ayrıca depoladıkları enerjiler de birbirinden farklı olabilir.*

2.2.1 Elektriksel Potansiyel Enerji, Elektriksel Potansiyel, Potansiyel Fark ve Elektriksel İş

Elektriksel Potansiyel Enerji



Görsel 2.12 *Vince bağlı olan elektrik motoru, cismi hareket ettirirken elektrik enerjisi mekanik enerjiye ve ısı enerjisine dönüşür.*

Fizik anlamında iş yapmak için gerekli şartlardan biri de enerji gereksinimidir. Görsel 2.12'de görülen elektrikli bir vinç elektrik kullanılarak üzerine asılan bir yükü yukarı doğru kaldırmaktadır. Hareket eden bu yük üzerinde hem potansiyel hem de kinetik enerji olmak üzere mekanik enerji vardır. Aynı zamanda elektrik motoru çalıştığı sürece motor üzerinde ısı enerjisi ortaya çıkar. Enerji dönüşümleri ve iş konusundan hatırlayacağınız gibi bir enerji diğer enerji türlerine dönüştürülebilir. Bu vinç üzerindeki yükün sahip olduğu mekanik enerjinin; vinç motorundaki ve hareket eden parçalardaki sürtünmelerden oluşan ısı enerjisinin kaynağı elektrik akımıdır. O hâlde elektrik yükleri sayesinde bir enerji türü sağlanmaktadır.

Potansiyel enerji kavramı, daha önceki bölümlerde esneklik potansiyel enerjisi ve yer çekimi potansiyel enerjisi olarak ele alınmıştı. Sıkıştırılan bir yayın önüne konulan cismin ya da belli bir yükseklikte bulunan cismin sahip olduğu enerjileri hesaplarken enerjinin korunumundan faydalanarak problem çözmeyi de öğrenmiştiniz. Bu tip problemlerde yapılan işi ya da sahip olunan potansiyel enerjiyi bulmak için doğrudan kuvveti kullanmak oldukça zordur. Çünkü cismin üzerindeki kuvvet yayın sıkışma miktarına veya yerden yüksekliğine göre farklı değerler almakta, yani konumuna göre sürekli değişiklikler arz etmektedir. Böyle durumlarda ise iş-enerji ilişkisini kullanmak yerine potansiyel enerji kavramını kullanmak problemlerin çözümünü kolaylaştırır.

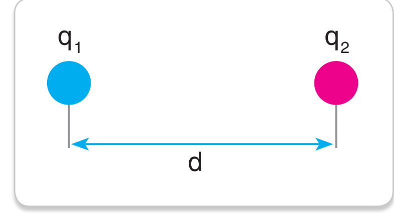
Yüklü noktasal cisim, yüklü küre, pil, akü gibi üzerinde elektrik yükü olan cisimler etraflarında elektrik alan oluşturur. Bu elektrik alana giren yüklü diğer cisimlere "**Coulomb Kuvveti**" uygular. Bu kuvvet sayesinde yüklü cisimlerin hareketi sağlanarak üzerlerinde iş yapılması sağlanır. Yükler arasındaki uzaklık sürekli değişeceğinden Coulomb Kuvveti de sürekli değişir. O hâlde mekanikteki potansiyel enerjiye benzer biçimde elektrik yüklü cisimler için de elektriksel potansiyel enerji kavramını tanımlamak problemlerin çözümünü kolaylaştıracaktır.

Elektrik alan içindeki yüklü bir maddenin durumundan dolayı sahip olduğu enerjiye elektriksel potansiyel enerji denir. Elektriksel potansiyel enerji E_p ile gösterilir.

Yüklü Noktasal Cisimlerden Oluşan Sistemin Elektriksel Potansiyel Enerjisi

Şekil 2.10'daki gibi yükü q_1 olan noktasal cismin etrafında oluşturduğu elektrik alanda bulunan q_2 yükü olsun. Bu iki noktasal yükten oluşan sistemin elektriksel potansiyel enerjisi

$E_p = k\frac{q_1 . q_2}{d}$ ifadesi ile bulunur. Bu ifadede k, Coulomb Sabiti; q_1 ve q_2 noktasal cisimlerin yükleri; d ise yüklü cisimler arasındaki uzaklık olup birimleri Tablo 2.3'te verilmiştir.



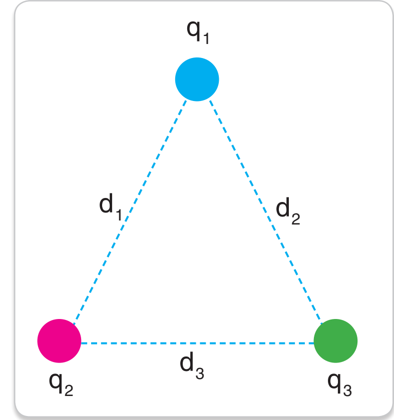
Şekil 2.10 *İki noktasal yükün bulunduğu sistemde elektriksel potansiyel enerji bulunur.*

Tablo 2.3 *Elektriksel potansiyel enerji ifadesi için birim tablosu*

	Büyüklüğün Sembolü	Birimi
Yükler	q_1 ve q_2	C
Uzaklık	d	m
Elektriksel Potansiyel Enerji	E_p	J

Elektriksel potansiyel enerji, diğer tüm enerji çeşitleri gibi skaler bir büyüklüktür. İfadeyi tekrar ele alıp inceleyecek olursak aynı tür işaretli yüklere sahip sistemler için "+", zıt işaretli yüklere sahip sistemler için "–" işaretli olacaktır.

Elektriksel potansiyel enerjinin oluşabilmesi için sistemde yüklü en az iki cisim bulunmalıdır. Şekil 2.11'deki gibi üç noktasal yükün bulunduğu sistemde ise toplam elektriksel potansiyel enerji, yüklerin ikişerli sistemlere ayrılarak oluşturdukları parçaların sahip oldukları potansiyel enerjilerin toplamına eşittir.



Şekil 2.11 *İkiden fazla yüklü cismin bulunduğu sistemde, toplam elektriksel potansiyel enerjiyi bulmak için sistem ikişerli parçalara ayrılır.*

Şekil 2.11'deki sistemde,

q_1 ve q_2 yükleri için $E_{p(1,2)} = k\frac{q_1 \cdot q_2}{d_1}$,

q_1 ve q_3 yükleri için $E_{p(1,3)} = k\frac{q_1 \cdot q_3}{d_2}$,

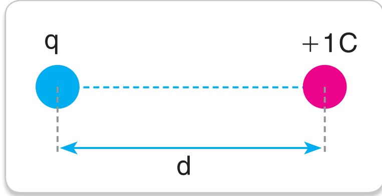
q_2 ve q_3 yükleri için $E_{p(2,3)} = k\frac{q_2 \cdot q_3}{d_3}$ olur.

Potansiyel enerji skaler bir büyüklük olduğundan sistemin toplam enerjisi,

$E_p = k\frac{q_1 \cdot q_2}{d_1} + k\frac{q_1 \cdot q_3}{d_2} + \frac{q_2 \cdot q_3}{d_3}$ şeklinde ifade edilir.

Elektriksel Potansiyel

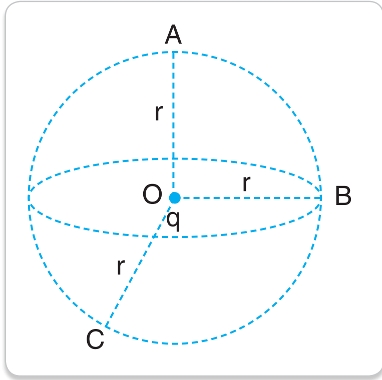
Elektrik alanın, birim yük başına düşen elektriksel kuvvet ya da +1 C yüke etki eden kuvvet olarak tanımlandığını ve büyüklüğünün $E = \frac{F}{q}$ şeklinde ifade edildiğini anımsayınız. Bu durumda elektrik alan, elektriksel kuvvetler kullanılarak elde edilen özel bir tanımlamadır.



Şekil 2.12 *Elektrik potansiyeli, birim yük başına düşen elektriksel potansiyel enerji olarak tanımlanır.*

Elektriksel potansiyel ise **birim yük başına düşen elektriksel potansiyel enerji** ya da **bir q yükü ile +1 C büyüklüğündeki yükün oluşturduğu sistemin potansiyel enerjisi** olarak tanımlanır. Şekil 2.12'de +1 C bulunan yükün bulunduğu yere +2 C'luk yük konulursa sistemin enerjisi 2 katına, +3 C'luk yük konulursa 3 katına çıkar. Ancak bu noktaya konulan yük başına düşen enerji yani elektriksel potansiyel değişmez. +1 C'luk yükün bulunduğu noktaya q_0 büyüklüğünde bir yük konulduğunda sistemin enerjisi $E_p = k\frac{q \cdot q_0}{d}$ kadar ve birim yük başına düşen elektrik potansiyel enerji yani elektrik potansiyeli,

$\dfrac{k\frac{q \cdot q_0}{d}}{q_0} = k\frac{q}{d}$ kadar olur. Bu durumda V harfi ile gösterilen ve skaler bir büyüklük olan elektriksel potansiyel, noktasal bir yük için $V = k\frac{q}{d}$ şeklinde ifade edilir. Bu ifadede k, Coulomb Sabiti; q, noktasal cismin yükü; d, elektriksel potansiyeli hesaplanmak istenen noktanın yüke uzaklığıdır. Potansiyel ifadesindeki büyüklükler için birimler Tablo 2.4'teki gibi olur.



Şekil 2.13 *Noktasal yükün etrafında oluşturduğu eş potansiyele sahip noktalar küresel bir yüzey oluşturur.*

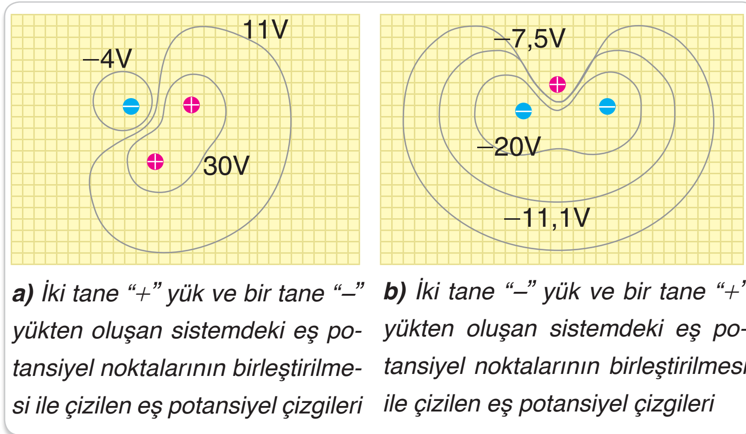
Tablo 2.4 *Elektriksel potansiyel ifadesi için birim tablosu*

Büyüklük	Büyüklüğün Sembolü	Birimi
Yük	q	C
Uzaklık	d	m
Potansiyel	V	volt (J/C)

Elektrik yüklü noktasal cisim eşit uzaklıklarda eşit büyüklüklerde potansiyeller oluşturur. Eşit büyüklükte potansiyellere sahip noktalara "**eş potansiyel noktaları**", eş potansiyel noktalarını birleştiren çizgilere "**eş potansiyel çizgileri**", eş potansiyellere sahip yüzeylere ise "**eş potansiyel yüzeyleri**" denir. Şekil 2.13'teki gibi O noktasında bulunan noktasal bir q yükünden r kadar uzaklıkta seçilen A, B ve C noktaları eş potansiyellere sahiptir. O noktasından r kadar uzaklıkta bulunan eş potansiyele sahip noktaların oluşturduğu küme ise yine Şekil 2.13'teki gibi

bir küresel yüzey olacaktır. Farklı yüklerin bulunduğu ortamlarda oluşan eş potansiyel çizgilerine iki örnek Şekil 2.14'te verilmiştir.

Eş potansiyel kavramı ileride öğreneceğimiz elektriksel iş konusunda da kullanacağımız bir kavram olacaktır.



***a)** İki tane "+" yük ve bir tane "–" yükten oluşan sistemdeki eş potansiyel noktalarının birleştirilmesi ile çizilen eş potansiyel çizgileri*

***b)** İki tane "–" yük ve bir tane "+" yükten oluşan sistemdeki eş potansiyel noktalarının birleştirilmesi ile çizilen eş potansiyel çizgileri*

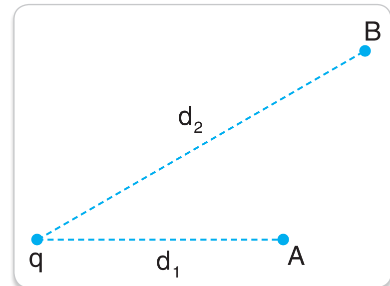
***Şekil 2.14** Elektrik yüklerinin oluşturduğu eş potansiyellere sahip noktalar birleştirildiğinde eş potansiyel çizgileri elde edilir.*

Elektriksel Potansiyel Fark

Yüklü cisimler farklı uzaklıklarda farklı büyüklüklerde potansiyellerin oluşmasına sebep olur. Şekil 2.15'teki gibi q yükünden d_1 kadar uzaklıktaki A noktasının potansiyeli V_A, d_2 kadar uzaklıktaki B noktasının potansiyeli V_B ise $V_A = k\frac{q}{d_1}$ ve $V_B = k\frac{q}{d_2}$ olarak yazılır. d_1 ve d_2 uzaklıkları farklı büyüklüklerde ise V_A ve V_B büyüklükleri de birbirinden farklı olur. Bu iki noktanın potansiyelleri arasındaki farka "**potansiyel fark**" denir. Potansiyel fark ΔV ile gösterilir. A ve B noktaları arasındaki potansiyel fark; $\Delta V = V_{AB} = V_B - V_A$ şeklinde yazılır.

Böylece $V_{AB} = k\frac{q}{d_2} - k\frac{q}{d_1}$ elde edilir.

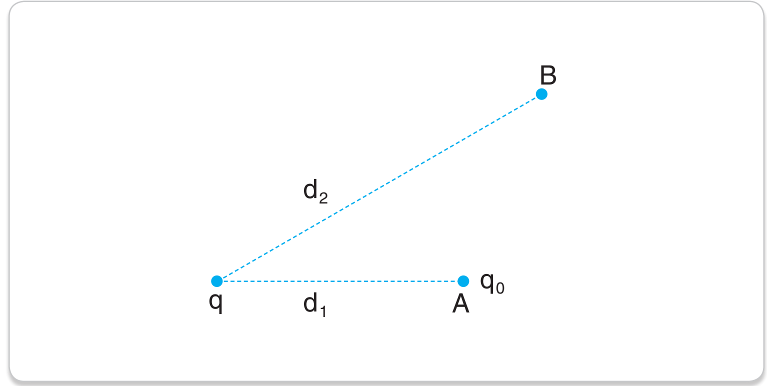
V_{AB}, potansiyel farkının "+" işaretli çıkması B noktasının potansiyelininin A noktasının potansiyelinden daha büyük olduğunu, "–" işaretli çıkması ise tam tersi bir büyüklük ilişkisi olduğunu gösterir.



***Şekil 2.15** q kadar elektrik yüküne sahip cisim farklı uzaklıklarda farklı büyüklüklerde potansiyeller oluşturur.*

Potansiyel farkı tanımlamak için sistemin enerjisindeki birim yük başına değişim de kullanılabilir. Şekil 2.16'daki gibi A noktasında bulunan q_0 yükü B noktasına hareket ettirildiğinde sistemin ilk durumdaki enerjisi $E_{p(ilk)} = k\frac{q \cdot q_0}{d_1}$, son durumdaki enerjisi $E_{p(son)} = k\frac{q \cdot q_0}{d_2}$ ve enerjideki değişm,

$\Delta E_p = E_{p(son)} - E_{p(ilk)} = k\frac{q \cdot q_0}{d_2} - \frac{q \cdot q_0}{d_1}$ olur. Bu değişim q_0 yükü için gerçekleştiğine göre sistemin enerjisinde birim yük başına düşen değişim,



Şekil 2.16 *Potansiyel fark, birim yük başına elektriksel potansiyel enerjideki değişime eşittir.*

$$\frac{k\frac{q \cdot q_0}{d_2} - \frac{q \cdot q_0}{d_1}}{q_0} = k\frac{q}{d_2} - k\frac{q}{d_1}$$ şeklinde elde edilir.

$V_A = k\frac{q}{d_1}$, $V_B = k\frac{q}{d_2}$ olduğundan,

$$\text{potansiyel fark} = \frac{\text{Sistemin elektriksel potansiyel enerjisindeki değişim}}{\text{yük}}$$

olarak ifade edilir.

Bu eşitliği semboller kullanarak $\Delta V = \frac{E_P}{q}$ şeklinde yazabiliriz. Yükün A noktasından B noktasına hareket ettirilmesi ile ilk ve son durumdaki enerji ifadeleri değişmeyeceği için hareket yörüngesinin bir önemi yoktur.



Mini Performans

A) Piller farklı amaçlar için farklı şekillerde üretilir.

1) Pillerin farklı büyüklüklerde ve farklı potansiyellere sahip olarak üretilmesinin nedenlerini,

2) Pilin bitmesinin ne anlama geldiğini,

3) Şarj edilebilir pillerin nasıl tekrar şarj edildiğini,

4) Pillerin yapısında bulunan maddelerin insana ve çevreye etkileri ile tekrar kullanılmayacak durumda olan pillerin nasıl geri dönüşüme kazandırıldığını araştırınız.

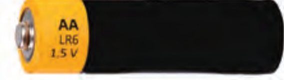
B) Tekrar şarj edilemeyen piller, bir kez kullanılıp bittiklerinde geri dönüşüme gönderilir. Fakat şarj edilebilir piller, yüzlerce hatta bazıları binlerce kez yüklenerek tekrar kullanılabilir. Bir araştırma yaparak şarj edilebilir pillerle klasik pilleri,

1) Kullanım maliyetleri açısından

2) Çevre ve insan sağlığına etkileri açısından karşılaştırınız. Sonuçları arkadaşlarınızla paylaşınız.



Biliyor musunuz?



PİLİN ÜZERİNDE YAZAN 1,5 V NE ANLAMA GELİR?

Piller elektrik enerjisinin depo edildiği ve bu enerjinin taşınabilmesini sağlayan araçlardır. Farklı büyüklüklere ve farklı potansiyellere sahip olan pillerin birçok kullanım alanı vardır. Potansiyel fark, birim yükün hareket ettirilmesi ile sistemin enerjisindeki değişim olarak tanımlanırsa potansiyel fark birimi $\text{volt} = \dfrac{\text{joule}}{\text{coulomb}}$ *yazılabilir. Buna göre 1,5 volt; 1 C'luk yüke 1,5 joule enerji verilmesi anlamına gelir.*

Elektriksel İş

Günlük hayatımızda elektrik enerjisini kullanarak birçok işimizi daha kısa sürede ve daha kolay bir biçimde yapabiliriz. Elektrik süpürgesi ile temizlik yapmak, çamaşır makinesi ile çamaşır yıkamak, çok katlı binalarda asansörü (Görsel 2.13) kullanarak diğer katlara gitmek elektrik enerjisinin mekanik enerjiye dönüştürülerek kullanıldığı alanlardan sadece birkaçıdır. Televizyon, bilgisayar, cep telefonu gibi cihazlara elektrik yüklerinin hareketleri kullanılarak görüntü (ışık), ses gibi olayların gerçekleşmesi ve aktarılması sağlanır. Bütün bu olayların gerçekleştirilmesi için elektrik yüklerinin bir elektrik alan içinde hareket ettirilmesi, elektrik yükleri üzerinde iş yapılması gerekir.

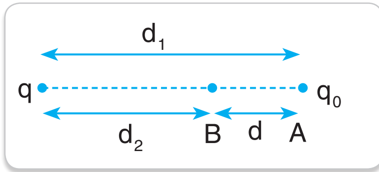
Elektrik yüklerinin hareketini sağlamak için kullanılan devre elemanlarına gerilim kaynağı denildiğini 10. sınıfta öğrenmiştiniz. Gerilim kaynaklarının temel işlevi, iletkenin iki ucu arasında elektrik alan oluşturmaktır. Bilindiği gibi elektrik alan içindeki serbest elektronlar, elektrik alan vektörü ile ters yönde hareket etmektedir. Bu şekilde hareket eden yükler üzerinde iş yapılmış olur.



Görsel 2.13 *Elektrik enerjisi kullanılarak asansörün hareketi sağlanır.*

Bir sistem üzerinde yapılan işin sistem üzerindeki enerji değişimine eşit olduğu bilgisini kullanarak bir yük üzerinde yapılan elektriksel işin yükün içinde bulunduğu sistemin elektrostatik potansiyel enerjisindeki değişimine eşit olduğunu söyleyebilir ve $W = \Delta E_p$ şeklinde ifade edebiliriz. Şekil 2.17'deki yüklü iki cisimli sistemde q yükünün elektrik alanı içine giren q_0 yükünün A noktasından B noktasına gelmesi ile yapılan elektriksel iş,

$W = \Delta E_p = E_{p(son)} - E_{p(ilk)}$ olarak ifade edilir.

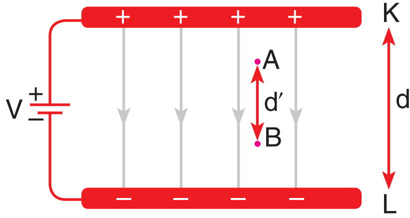


Şekil 2.17 *Bir elektrik yükünün elektrik alanda hareket etmesi için üzerinde iş yapılmalıdır.*

$\Delta V = \dfrac{E_P}{q}$ olduğundan $W = \Delta E_p = q.\Delta V = q(V_B - V_A)$ şeklinde yazılabilir.

Elektriksel işin "+" işaretli olması; sistemin potansiyel enerjisinin artması, yani dışarıdan bir kuvvet uygulanarak iş yapılması anlamına gelir. Aynı şekilde "–" işaretli çıkması sistemdeki potansiyel enerjinin azalması, yani sistemin iş yapması anlamına gelir. Eğer yük eş potansiyelli iki nokta arasında hareket ediyorsa iş yapılmaz.

2.2.2. Düzgün Elektrik Alan İçinde İki Nokta Arasındaki Potansiyel Fark



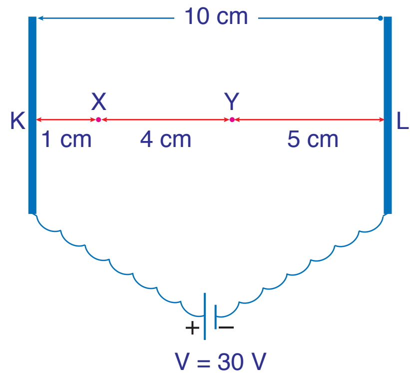
Şekil 2.18 *Yüklü paralel K ve L levhaları arasında düzgün elektrik olan oluşur.*

Şekil 2.18'deki gibi V potansiyeline sahip üretece bağlı, paralel konumlandırılmış K ve L iletken levhaları arasında "**düzgün elektrik alan**" oluşur. Bu elektrik alanın büyüklüğü ve yönü, levhalar arasındaki her noktada aynıdır.

K ve L levhaları arasındaki potansiyel fark $V_K - V_L = V$ olurken A ve B noktaları arasındaki potansiyel fark

$V_A - V_B = \dfrac{V}{d} \cdot d'$ ile bulunur.

ÖRNEK 10



K ve L iletken levhaları aralarında 10 cm uzaklık varken 30 V gerilime sahip üretece bağlanıyor.

Buna göre şekilde gösterilen X ve Y noktaları arasındaki potansiyel fark kaç V olur?

ÇÖZÜM

$$V_X - V_Y = \frac{V}{d} \cdot d'$$

$$V_X - V_Y = \frac{30}{10} \cdot 4 = 12\,V \quad \text{olur.} \quad (V_X > V_Y)$$



Sıra Sizde 2.3

Örnek 10'daki verileri kullanarak

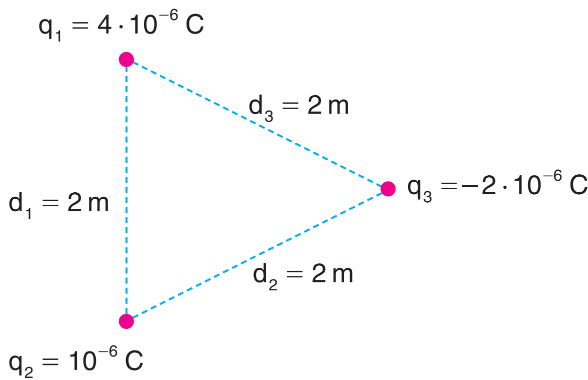
a) V_{KX} b) V_{KY} c) V_{LX} ç) V_{LY}

potansiyel farklarını bulunuz.

2.2.3. Noktasal Yükler İçin Elektriksel Potansiyel Enerji, Elektriksel Potansiyel, Elektriksel Potansiyel Fark ve Elektriksel İş Kavramları ile İlgili Hesaplamalar

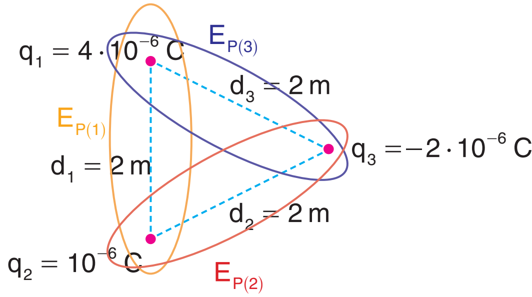
Elektriksel potansiyel enerji, elektrik potansiyeli, potansiyel fark ve iş kavramları birbirleri ile ilgili kavramlardır. Bu nedenle bu kavramlara ait problemlerin çözümünde farklı yöntemler üretilebilir. Burada problemlerin çözümü yapılırken zaman zaman kavramların ilişkisi tekrar hatırlatılarak farklı çözüm yöntemleri de kullanılacaktır.

ÖRNEK 11



Yükleri $q_1 = 4 \cdot 10^{-6}$ C, $q_2 = 10^{-6}$ C ve $q_3 = -2 \cdot 10^{-6}$ C olan cisimler şekildeki gibi bir kenarının uzunluğu 2 m olan eşkenar üçgenin köşelerinde bulunmaktadır. Buna göre sistemin elektriksel potansiyel enerjisini bulunuz. $(k = 9 \cdot 10^{9}\ N \cdot m^2 / C^2)$

ÇÖZÜM



Yüklü cisimlerin birbirinin elektrik alanı içinde bulunmasından kaynaklanan bir elektrostatik potansiyel enerji vardır.

Sistemde ikiden fazla yük olduğu için sistemi ikişerli parçalara ayrılarak işlem yapabiliriz.

q_1 ve q_2 yüklerinin oluşturduğu parçanın potansiyel enerjisi $E_{P(1)}$, q_2 ve q_3 yüklerinin oluşturduğu parçanın potansiyel enerjisi $E_{p(2)}$, q_1 ve q_3 yüklerinin oluşturduğu parçanın potansiyel enerjisi $E_{P(3)}$ olsun. Sistemdeki toplam elektriksel potansiyel enerji E_P, tüm parçaların potansiyel enerjilerinin toplamına eşit olacağından $E_p = E_{p(1)} + E_{p(2)} + E_{p(3)}$ şeklinde yazılabilir.

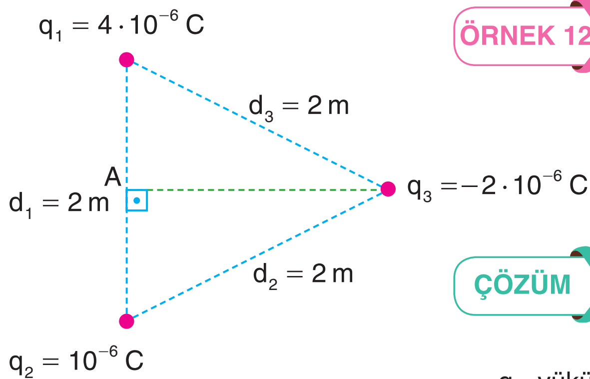
$$E_{p(1)} = k \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{d_1},$$

$$E_{p(2)} = k\frac{q_2 \cdot q_3}{d_2},$$

$E_{p(3)} = \dfrac{q_1 \cdot q_3}{d_3}$ olacağından toplam elektrostatik potansiyel enerji için $E_p = k \cdot \dfrac{q_1 \cdot q_2}{d_1} + k\dfrac{q_2 \cdot q_3}{d_2} + \dfrac{q_1 \cdot q_3}{d_3}$ yazılır. Bu eşitlikte değerler yerine yazılırsa

$$E_p = 9 \cdot 10^9 \frac{4 \cdot 10^{-6} \cdot 10^{-6}}{2} + 9 \cdot 10^9 \frac{10^{-6} \cdot (-2)10^{-6}}{2} + 9 \cdot 10^9 \frac{4 \cdot 10^{-6} . (-2)10^{-6}}{2}$$
$$= -27 \cdot 10^{-3} \text{ J} = -2,7 \cdot 10^{-2} \text{ J bulunur.}$$

ÖRNEK 12



q_1 ve q_2 yükleri yerlerinde sabit tutulurken q_3 yükünün A noktasına götürülmesiyle sistemin potansiyel enerjisindeki değişimi bulunuz.

ÇÖZÜM

q_3 yükünün bulunduğu yerden A noktasına götürülmesi ile yükler arasındaki uzaklık değiştiği için sistemin elektrostatik potansiyel enerjisi de değişir. q_1 ve q_2 yükleri arasındaki d_1 uzaklı-

ğı değişmezken d_2 ve d_3 uzaklıkları değişir. Bu yeni durumdaki yükler arasındaki uzaklıklar $d'_1 = 2\,m$, $d'_2 = 1\,m$, ve $d'_3 = 1\,m$ olur.

$$E_{p(son)} = E'_{P1} + E'_{P2} = k \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{d'_1} + \frac{q_2 \cdot q_3}{d'_2} + \frac{q_1 \cdot q_3}{d'_3}$$

$$= 9 \cdot 10^9 \frac{4 \cdot 10^{-6} \cdot 10^{-6}}{2} + 9 \cdot 10^9 \frac{10^{-6} \cdot (-2) \cdot 10^{-6}}{1} + 9 \cdot 10^9 \frac{4 \cdot 10^{-6} \cdot (-2) \cdot 10^{-6}}{1}$$

$$= -72 \cdot 10^{-3}\,J = -7,2 \cdot 10^{-2}\,J$$

q_3 yükü ilk konumunda iken sistemin potansiyel enerjisi,

$$E_{p(ilk)} = k \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{d_1} + k \cdot \frac{q_2 \cdot q_3}{d_2} + k \cdot \frac{q_1 \cdot q_3}{d_3}$$

$$E_{p(ilk)} = 9 \cdot 10^9 \frac{4 \cdot 10^{-6} \cdot 10^{-6}}{2} + 9 \cdot 10^9 \frac{10^{-6} \cdot (-2) \cdot 10^{-6}}{2} + 9 \cdot 10^9 \frac{4 \cdot 10^{-6} \cdot (-2) \cdot 10^{-6}}{2}$$

$$E_{p(ilk)} = -2,7\,J$$

sistemin potansiyel enerjisindeki değişim,

$$\Delta E_p = E_{p(son)} - E_{p(ilk)}$$

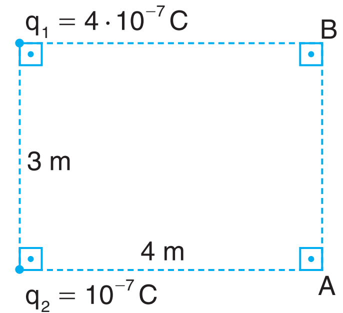
$$= -7,2 \cdot 10^{-2} - (-2,7 \cdot 10^{-2})$$

$$= -4,5 \cdot 10^{-2}\,J \text{ olur.}$$

Problemin çözümü sırasında yüklerin değerlerini işaretleri ile birlikte kullanmamızın sebebi enerjinin skaler bir büyüklük olmasından kaynaklanmaktadır. Elektrik alanın ve elektriksel kuvvetin bulunması işlemlerinde ise bu büyüklükler vektörel olduğundan işaretleri yazılmadan yalnızca büyüklükleri yazılmaktaydı. Ayrıca sistemin elektrostatik potansiyel enerjisindeki değişimin "–" işaretli olması, sistemin potansiyel enerjisinde azalma olduğunu gösterir.

ÖRNEK 13

Kenar uzunluları 3 m ve 4 m olan dikdörtgenin iki köşesine yükleri $4 \cdot 10^{-7}$ C ve 10^{-7} C olan yükler şekildeki gibi konularak sabitleniyor. Buna göre;



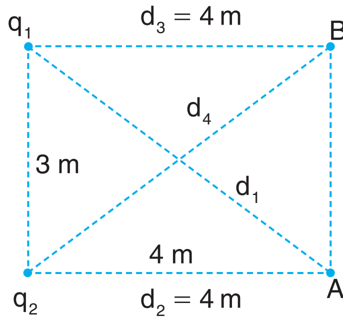
a) A ve B noktalarında oluşan potansiyelleri (V_A, V_B),

b) A ve B noktaları arasındaki potansiyel farkı (V_{AB}),

c) Yükü 10^{-7} C olan bir yükün A noktasından B noktasına gitmesi için yapılan işi,

ç) Yapılan işin sistem tarafından mı yoksa dışarıdan uygulanan bir kuvvet tarafından mı yapıldığını bulunuz.

$(k = 9 \cdot 10^9\,N \cdot m^2/C^2)$



ÇÖZÜM

Yüklerin noktalara uzaklıklarını aşağıdaki gibi belirleyelim.

Pisagor Teoremi'nden $d_1 = d_4 = 5$ m bulunur.

a) İki yükün ayrı ayrı oluşturdukları potansiyellerin toplamı o noktadaki toplam potansiyeli verir. Bu durumda A noktasının potansiyeli için

$V_A = k \cdot \frac{q_1}{d_1} + k \cdot \frac{q_2}{d_2}$ yazılır. Bu ifadede değerler yerine yazılırsa

$$V_A = 9 \cdot 10^9 \frac{4.10^{-7}}{5} + 9.10^9 \frac{10^{-7}}{4} = 945 \text{ V bulunur.}$$

Aynı şekilde B noktası için;

$V_B = k \cdot \frac{q_1}{d_3} + k \cdot \frac{q_2}{d_4} = 9 \cdot 10^9 \frac{4.10^{-7}}{4} + 9 \cdot 10^9 \frac{10^{-7}}{5} = 1080$ V bulunur.

b) A ve B noktaları arasındaki potansiyel fark,

$V_{AB} = 1080 - 945 = 135$ V olur. Potansiyel farkın "+" çıkması B noktasının potansiyelinin A noktasının potansiyelinden daha büyük olmasındandır.

c) Yük, potansiyelleri birbirinden farklı olan A noktasından B noktasına hareket ettiği için yapılan iş

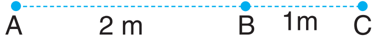
$W = q \cdot V_{AB} = 10^{-7} \cdot 135 = 1,35 \cdot 10^{-5}$ J olarak bulunur.

ç) Problemin a şıkkının çözümünde B noktasının potansiyelinin A noktasının potansiyelinden daha büyük olduğunu bulmuştuk. 10. sınıftaki elektrik akımı konusunda "+" yüklerin yüksek potansiyelden düşük potansiyele doğru hareket ettiğini öğrenmiştiniz. Burada ise "+" bir yükün düşük potansiyelden yüksek potansiyele doğru hareketi söz konusu olduğundan, "Bu sistemdeki iş, dışarıdan uygulanan bir kuvvet tarafından yapılmıştır." denir.



Sıra Sizde 2.4

1) $q = 6 \cdot 10^{-5}$ C



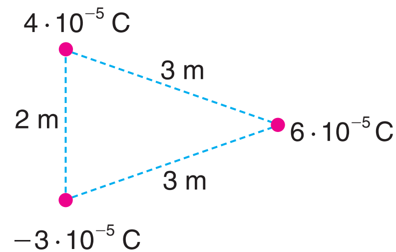
Yükü $6 \cdot 10^{-5}$ C olan q yükü, A noktasında sabit tutulmaktadır. Buna göre;

a) B ve C noktalarında oluşan potansiyelleri,

b) B ve C noktaları arasındaki potansiyel farkı,

c) $-4 \cdot 10^{-4}$ C'luk yükü B noktasından C noktasına götürmek için yapılan işi bulunuz. $(k = 9 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2)$

2) Şekildeki gibi konumları ve yükleri verilen üç noktasal cisimden oluşan sistemin elektrostatik potansiyel enerjisini bulunuz. $(k = 9 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2)$





2. ÜNİTE: 2. BÖLÜM DEĞERLENDİRME SORULARI

A. Aşağıdaki cümlelerde boş bırakılan yerleri uygun kelimeleri kullanarak tamamlayınız.

skaler | elektriksel iş | volt | potansiyel | coulomb | eş potansiyel

1. Bir yük .... iki nokta arasında hareket ediyorsa iş yapılmaz.

2. Potansiyel ve potansiyel fark .... büyüklüklerdir.

3. Elektrostatik potansiyel enerjideki değişim .... olarak da tanımlanır.

4. Elektrik potansiyelinin SI birim sisteminde birimi .... tur.

5. Birim yük başına düşen enerjiye .... denir.

B. Aşağıdaki cümlelerin başına doğru ise "D", yanlış ise "Y" yazınız.

1. (   ) Aynı işaretli iki yükü birbirine yaklaştırmak için gerekli işi sistem yapar.

2. (   ) "+" işaretli iki yükün bulunduğu sistemde potansiyel sıfır olamaz.

3. (   ) Elektriksel potansiyel enerji "+" ve "–" işaretli değerler alabilir.

4. (   ) Aynı işaretli yüke sahip noktasal cisimlerden oluşan sistemde potansiyel sıfır olamaz.

5. (   ) Serbest elektronlar potansiyelin düşük olduğu noktadan yüksek olduğu noktaya doğru hareket eder.

C. Aşağıdaki soruları cevaplayınız.

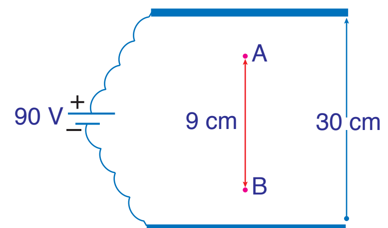
1. Noktasal bir yükün etrafında oluşan elektriksel potansiyelin büyüklüğü hangi faktörlere bağlıdır?

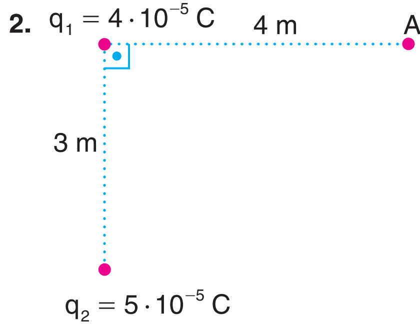
2. "Eş potansiyel yüzeyi" kavramı açıklayınız.

3. Yüklü bir cismin yeri değiştiği hâlde yapılan işin sıfır olması nasıl açıklanır?

Ç. Aşağıdaki problemleri çözünüz.

1. Aralarında 30 cm uzaklık bulunan iletken levhalar üzerine 90 V gerilim uygulanıyor. A ve B noktaları arasındaki potansiyel fark V_{AB} kaç volt olur?



2. 

Yükleri $4 \cdot 10^{-5}$ C ve $5 \cdot 10^{-5}$ C olan iki yük şekildeki gibi konumlarında sabit tutulmaktadır. Buna göre;

a) Sistemin elektrostatik potansiyel enerjisini,

b) A noktasının potansiyelini,

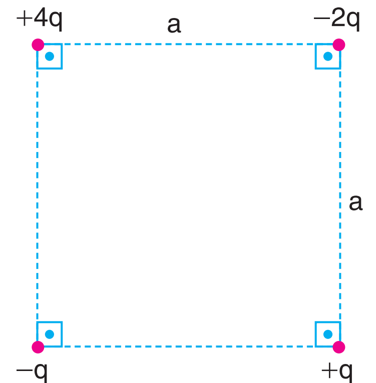
c) $2 \cdot 10^{-4}$ C'luk bir yükü sonsuzdan A noktasına getirmek için yapılacak işi bulunuz. $(k = 9 \cdot 10^9\ N \cdot m^2/C^2)$

3. Yatay düzlemde bulunan +2q ve –q noktasal yükleri arasındaki uzaklık 4d iken 2d yapılıyor. Buna göre;

a) Yapılan iş kaç $k\frac{q^2}{d}$ olur?

b) İş sistem tarafından mı yoksa dışarıdan uygulanan kuvvet tarafından mı yapılmıştır? Tartışınız.

4. Kenar uzunluğu a olan karenin köşelerine şekildeki gibi dört tane yük konuluyor. Karenin merkezinde oluşan potansiyel kaç $k \cdot \frac{q}{a}$ olur?



D. Aşağıdaki test sorularını çözünüz.

1. Elektrik potansiyelinin birimi olan volt yerine aşağıdakilerden hangisi kullanılabilir?

A) Watt · saniye

B) Joule/coulomb

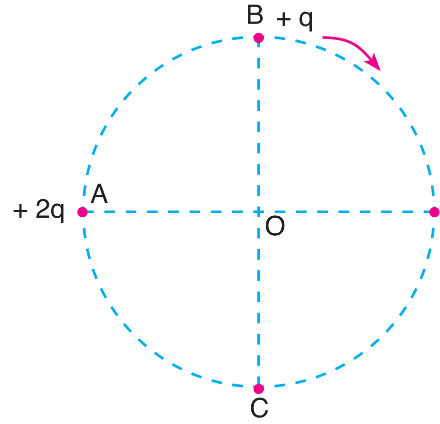
C) Coulomb/metre

D) Coulomb/saniye

E) Coulomb · Joule

2. Yatay zemin üzerinde dairesel şekil üzerindeki +2q ve +q yüklerinin konumları şekildeki gibidir. A noktasındaki +2q yükü sabit tutulurken B noktasındaki +q yükü daire üzerinde ok yönünde hareket ettirilerek C noktasına getiriliyor.

Yükün hareketi boyunca O noktasında oluşan elektriksel potansiyelin büyüklüğü hakkında aşağıdakilerden hangisi söylenebilir?



A) Değişmez.

B) Sürekli azalır.

C) Sürekli artar.

D) Önce azalır, sonra artar.

E) Önce artar, sonra azalır.

3. Aşağıdakilerden hangisi **yanlıştır**?

A) Aynı işaretli yükler arasındaki uzaklığı azaltmak için dışarıdan iş yapılmalıdır.

B) Potansiyel fark skaler büyüklüktür.

C) Zıt işaretli iki yükten oluşan sistemdeki elektriksel potansiyel enerji daima negatif işaretlidir.

D) Eşit büyüklükte ve zıt işaretli iki yükten oluşan sistemdeki her noktada potansiyel daima sıfır olur.

E) Negatif yüklü noktasal bir cisimden uzaklaştıkça potansiyel artar.

2.3. DÜZGÜN ELEKTRİK ALAN VE SIĞA

Bu bölümde;

- Yüklü paralel levhalar arasındaki elektrik alan kuvvet çizgilerinin özelliklerini,
- Yüklü parçacıkların elektrik alan içindeki davranışlarını,
- Elektrik yüklerinin nasıl depo edilip kullanılacağını,
- Sığacın işlevini,
- Bir sığacın sığasının bağlı olduğu faktörleri,
- Sığaçta depo edilen yük ve üzerindeki gerilim arasındaki ilişkiyi,
- Sığaç çeşitlerini ve sığaçların devre içinde bağlanma çeşitlerini,
- Eşdeğer sığanın hesaplanmasını,
- Sığaçların kullanım alanlarını, sığaç tasarlamayı ve bir sığaç yapmayı öğreneceğiz.

Kavramlar

- Düzgün elektrik alan
- Sığaç (kondansatör)
- Sığa (kapasite)

Fotoğraf Makinesinin Flaşı

İkiz kardeş olan Hatice ve Zeynep, okullarındaki öğrencilerin, öğretmenlerin ve velilerin birlikte hazırladıkları “Şiir ve Müzik Dinletisi” programına babalarıyla gittiler. Program başlamadan önce salon öyle aydınlatılmıştı ki gece olmasına rağmen içerisi gündüz gibi aydınlıktı. Program başlamak üzereydi. Salonun tüm ışıkları kapatılmış, sadece sahneyi aydınlatan lambalar açık kalmıştı. Hatice ve Zeynep, bir hatıra fotoğrafı çektirmek için geç mi kalmıştı? Çünkü oturdukları yer çok karanlıktı. “Bu karanlıkta fotoğraf çekilir mi?” diye düşünüyorlardı. Babalarına sordular. Babaları fotoğraf makinesinin flaşını (Görsel 2.14) kullanarak iyi bir fotoğraf çekebileceklerini söyledi. Flaşı kullanıp bir hatıra fotoğrafı çektirdiler.



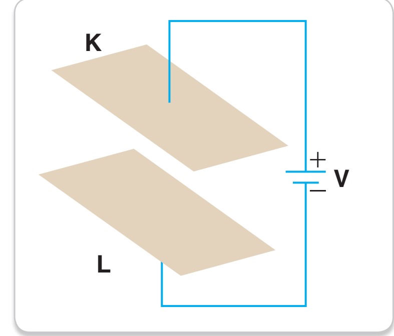
Görsel 2.14 *Flaşlı bir fotoğraf makinesi ile karanlıkta da iyi bir çekim yapılabilir.*

Flaş sayesinde, aydınlık ortamları aratmayan bir fotoğrafları olmuştu. Sizce bu kadar karanlık bir ortamda bu kadar aydınlık nasıl sağlanmıştır? Flaşın bu kadar aydınlatma sağlaması için hangi elektronik cihaz kullanılmıştır? Acaba aynı pilleri kullanarak bir fenerle de aynı aydınlatma sağlanabilir miydi?

2.3.1. Yüklü, İletken ve Paralel Levhalar Arasındaki Elektrik Alan

Eşit büyüklükte iki iletken levhayı aralarında belirli bir mesafe kalacak biçimde karşılıklı koyduktan sonra iletken kablolar yardımı ile Şekil 2.19'daki gibi V potansiyel farkına sahip bir pile bağladığımızda oluşacak durumu inceleyelim.

Şekil 2.19'daki gibi bir düzenek hazırlandığında dokunma ile elektriklenme gerçekleşir ve pilin "+" kutbuna bağlanan K levhasının "+" yükle, pilin "–" kutbuna bağlanan L levhasının ise "–" yükle yüklenmesi sağlanır. Levhalardaki bu yükler levha üzerinde düzgün olarak dağılır. Böylece levhalar arasında elektrik alan oluşur.



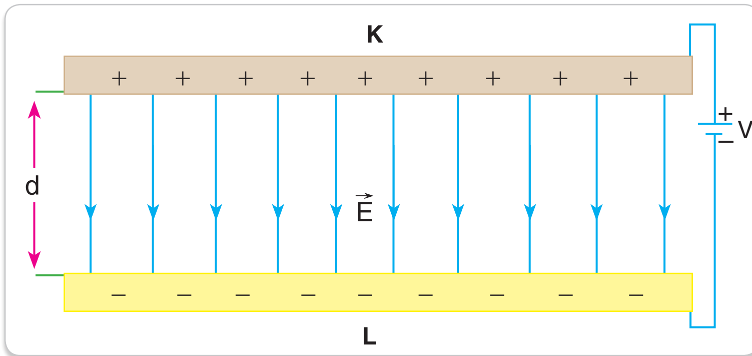
***Şekil 2.19** Pilin "+" kutbuna bağlanan K levhası "+", "–" kutbuna bağlanan L levhası "–" yükle yüklenir.*

2.3.2. Yüklü, İletken ve Paralel Levhalarda Elektrik Alanının Bağlı Olduğu Değişkenler

Yüklü noktasal parçacıklarda olduğu gibi yüklü levhaların da çevresinde elektrik alan bölgesi oluşur. Ancak levhalar arasında oluşan elektrik alanın, noktasal yüklerin oluşturduğu elektrik alandan iki önemli farkı vardır:

1. Noktasal yüklerden uzaklaştıkça elektrik alanın şiddeti azalmakta iken yüklü paralel levhalar arasındaki elektrik alan sabit ve her noktada birbirine eşittir.

2. Noktasal yüklerin oluşturduğu elektrik alan çizgileri her yöne dağılıyor olmasına karşın yüklü paralel levhaların oluşturduğu elektrik alan çizgileri birbirine (levhalar arasındaki bölgede) daima paraleldir.



***Şekil 2.20** Yüklü iki levha arasında oluşan elektrik alan çizgileri birbirine paraleldir.*

Her noktasında doğrultusu ve şiddeti aynı olan elektrik alanlara **"düzgün elektrik alan"** denir. Şekil 2.20'de görülen K ve L levhaları arasında oluşan elektrik alan, düzgün elektrik alandır.

Bu elektrik alanın yönü daha önce öğrendiğimiz gibi “+” yüklerden çıkıyor, “–” yüklere giriyor şeklinde olacağından K levhasından L levhasına doğrudur. Aralarında boşluk (ya da hava) olan yüklü iki levha arasında oluşan elektrik alanın büyüklüğü,

$E = \frac{V}{d}$ eşitliği ile bulunur. Bu eşitlikteki semboller ve birimleri Tablo 2.5’te gösterilmiştir.

***Tablo 2.5** Elektrik alan için birim tablosu*

Nicelik	**Potansiyel Farkı**	**Uzaklık**	**Elektrik alanı**
Sembol	V	d	E
Birim	V	m	V/m

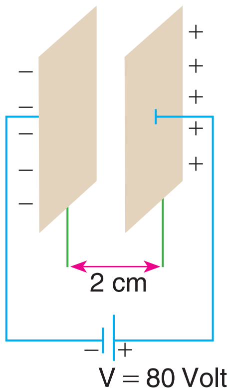
Eğer levhalar arasına havadan k kat daha iyi bir yalıtkan madde konulursa oluşan elektrik alan E'=k.E olur.

Düzgün elektrik alanın bağlı olduğu değişkenleri analiz etmek için, *https://phet.colorado.edu/tr/simulation/legacy/capacitor-lab* bağlantısını açınız. Giriş bölümünde sağ taraftaki "göster" bölümünden "Plakanın Yükü", "Elektrik Alan Çizgileri" kutucuklarını ve "Ölçü Araçları" bölümünden "Elektrik Alan Dedektörü" kutucuğunu işaretleyiniz.

Pilin potansiyeli, plakanın alanı, plakalar arası mesafe değerlerini değiştirerek oluşan elektrik alanın yönünü ve büyüklüğünü dedektör yardımı ile izleyiniz.

Simülasyondaki "Dielektrik" başlığını tıklayıp sağ taraftaki "Dielektrik" bölümünden farklı maddeleri seçerek dedektördeki değerleri inceleyiniz.

ÖRNEK 14

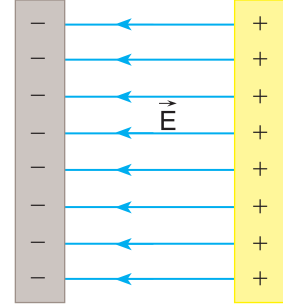


İki iletken levha, şekildeki gibi aralarında 2 cm olacak biçimde konulduktan sonra 80 V potansiyel farka sahip bir üretecin kutuplarına bağlanıyor.

a) Levhalar arasında oluşan elektrik alanın yönünü çizerek gösteriniz.

b) Levhalar arasında oluşan elektrik alanın büyüklüğünü bulunuz.

ÇÖZÜM



a) Yüklü paralel levhalar arasında oluşan elektrik alan, düzgün elektrik alan olacağından alan kuvvet çizgileri birbirine paralel olacaktır. Aynı zamanda bu elektrik alanın yönü "+" yüklü levhadan "–" yüklü levhaya doğru olacağından çizimi yandaki şekildeki gibi yapabiliriz.

b) Yüklü paralel levhalar arasında oluşan elektrik alanın büyüklüğü, $E = \frac{V}{d}$ ile bulunur. Burada levhalar arasındaki uzaklık birimi olarak m, potansiyel fark birimi olarak da V kullanılmalıdır. O hâlde cm cinsinden verilen d uzaklığını öncelikle m cinsine çevirelim. Bu durumda $d = 2\,cm = 2 \cdot 10^{-2}\,m$ olur. Eşitlikte değerleri yerine koyarsak

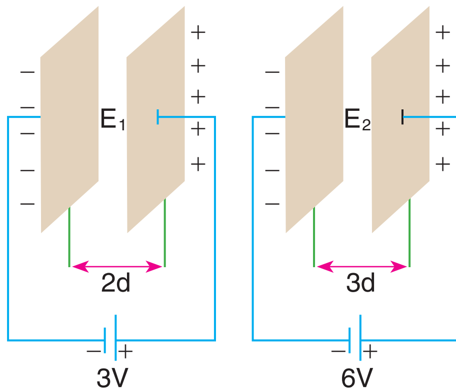
$E = \frac{V}{d} = \frac{80}{2 \cdot 10^{-2}} = 4000$ V/m bulunur.



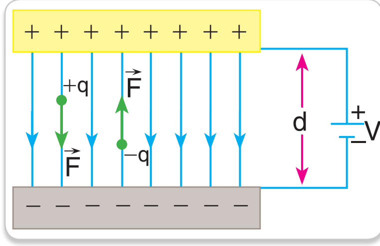
Sıra Sizde 2.5

İki iletken levha aralarındaki uzaklık 2d iken 3V potansiyel farka sahip üretece bağlandığında oluşan elektrik alanın büyüklüğü E_1, aralarındaki uzaklık 3d iken 6V potansiyel farka sahip üretece bağlandığında oluşan elektrik alanın büyüklüğü ise E_2 olmaktadır.

Oluşan elektrik alanların büyüklükleri oranını $\left(\frac{E_1}{E_2}\right)$ bulunuz.



2.3.3. Yüklü Parçacıkların Düzgün Elektrik Alandaki Davranışları

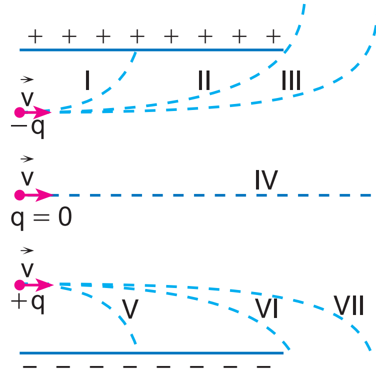


Şekil 2.21 Düzgün elektrik alan içindeki noktasal yüklere etki eden elektriksel kuvvetlerin yönü, yükün işaretine bağlı olarak değişir.

Noktasal yüklerin oluşturduğu elektrik alana giren diğer bir yüklü parçacığa etki eden elektriksel kuvvet $F = q \cdot E$ büyüklüğünde idi. Yine aynı şekilde büyüklüğü E olan düzgün bir elektrik alan içinde bulunan q yüklü parçacığa etki eden elektriksel kuvvet de $F = q \cdot E$ kadar olacaktır. Yüklü paralel iki levha arasında oluşturulan elektrik alan şiddeti her noktada aynı büyüklükte olduğundan, levhalar arasında bulunan q yüküne etki eden elektriksel kuvvetin büyüklük ve yönü daima aynıdır.

Şekil 2.21'de düzgün bir elektrik alan içinde bulunan "+" ve "–" yüklü taneciklere etki eden kuvvetlerin yönü gösterilmiştir.

Elektrik Alana Dik Giren Yüklü Parçacıkların Davranışı



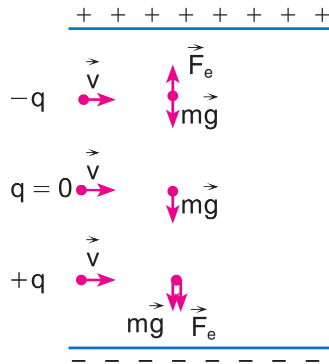
Şekil 2.22 Yatay düzlemde "–", "+" yüklü ve nötr cisimlerin elektrik alan içindeki sapmaları farklı olur.

a) Yatay Düzlemde

Şekil 2.22'de; –q yükü ve I, II ve III numaraları yörüngelerden birini izleyerek "+" yüklü levhaya doğru, +q yükü V, VI veya VII numaralı yörüngelerden birini izleyerek "–" yüklü levhaya doğru sapar. Nötr cisme elektriksel kuvvet etki etmediği için yörüngesinde sapma olmaz.

b) Düşey Düzlemde

Şekil 2.23'teki gibi düşey düzlemdeki elektrik alana dik giren parçacıkların sapmaları, elektriksel kuvvet ve ağırlık arasındaki ilişkiye göre değişir.



Şekil 2.23 Düşey düzlemde hareket eden yüklü parçacık, ağırlık ve elektriksel kuvvetlerin bileşkesinde hareket eder.

–q yükü için

- $F_e > mg$ ise sapma "+" levhaya doğru olur.
- $F_e = mg$ ise sapma olmaz.
- $mg > F_e$ ise sapma "–" levhaya doğru olur.

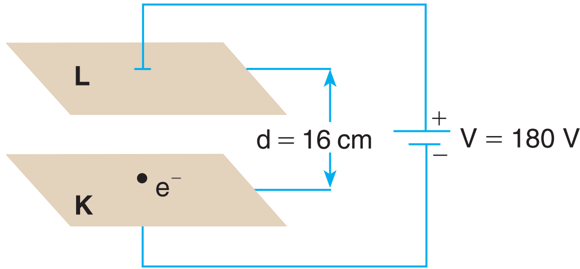
Nötr cisim için

- Elektriksel kuvvet etki etmediği için yalnızca ağırlık etkisinde yatay atış hareketi yapar.

+q yükü için

- Elektriksel kuvvet ve ağırlık aynı yönlü olduğu için sapma "–" levhaya doğrudur.

ÖRNEK 15



Aralarında 16 cm uzaklık bulunan paralel levhalar 180 V büyüklüğündeki bir üretece şekildeki gibi bağlanmıştır. K levhası yakınlarında ilk hızsız serbest bırakılan bir elektron için

a) Üzerine etki eden kuvvetin yönünü ve büyüklüğünü,

b) İvmesini,

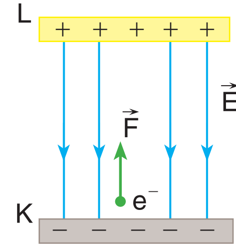
c) L levhasına ulaşana kadar elektriksel kuvvetin yaptığı işi,

ç) L levhasına çarpma hızını bulunuz.

($q_e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ C, $m_e = 9 \cdot 10^{-31}$ kg alınız. Yer çekimi ivmesini ihmal ediniz.)

ÇÖZÜM

a) L levhası üretecin "+", K levhası üretecin "–" kutbuna bağlı olduğundan levhalar arasında oluşan elektrik alan L'den K'ye doğru olur. Elektronun yükü "–" işaretli olduğundan üzerine etki eden kuvvetin yönü elektrik alanla zıt yönde yani şekildeki gibi K'den L'ye doğrudur. Elektriksel kuvvetin büyüklüğü için,



$F_e = q \cdot E$ ve $E = \dfrac{V}{d}$ olduğundan $F_e = \dfrac{q \cdot V}{d}$ yazılabilir. Burada değerler yerine yazılırsa $F_e = \dfrac{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 180}{16 \cdot 10^{-2}}$ olur. İşlemler yapıldığında $F = 1,8 \cdot 10^{-16}$ N bulunur.

b) Elektron üzerine etki eden kuvveti bulduk. Elektronun kütlesi de bilindiğine göre

$F_{net} = F_e = m \cdot a$

$1,8 \cdot 10^{-16} = 9 \cdot 10^{-31} \cdot a$ olur. $a = 2 \cdot 10^{14}$ m/s^2 bulunur.

Elektriksel kuvvetin elektron üzerinde oluşturduğu ivme $2 \cdot 10^{14}\ m/s^2$ iken yer çekiminin oluşturduğu ivmenin yaklaşık $10\ m/s^2$ olması, yer çekimi ivmesini neden ihmal ettiğimizi açıklar.

c) q yükünü K levhasından L levhasına kadar götürmek için yapılan iş $W = q \cdot V_{KL}$ olacağından elektron için,

$$W = q_e \cdot V_{KL} = q_e \cdot (V_L - V_K)$$

$$= 1,6.10^{-19} \cdot 180$$

$$= 2,88 \cdot 10^{-17}\ J \text{ olur.}$$

ç) Yapılan iş, kinetik enerjideki değişime eşittir.

$W = \Delta E_k = E_{k(son)} - E_{k(ilk)}$ yazılabilir. Elektronun ilk hızı olmadığından $E_{k(ilk)} = 0$ ve $W = E_{k(son)}$ olur.

$W = \frac{1}{2}mv_{son}^2$ Burada v_{son}, elektronun L levhasına çarpma hızıdır.

$2,88 \cdot 10^{-17} = \frac{1}{2} \cdot 9 \cdot 10^{-31} \cdot v_{son}^2$ ve $v_{son} = 8 \cdot 10^6$ m/s bulunur.

İş-enerji eşitliği yerine zamansız hız formülünden yararlanacak olursak

$$v_{son}^2 = v_0^2 + 2ax \Rightarrow v_{son}^2 = 0 + 2 \cdot 2 \cdot 10^{14} \cdot 16 \cdot 10^{-2}$$

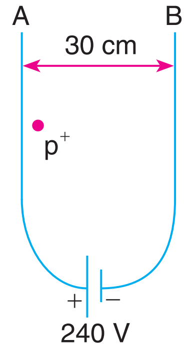
$$\Rightarrow v_{son}^2 = 64 \cdot 10^{12} \text{ ve } v_{son} = 8 \cdot 10^6 \text{ m/s}$$

bulunur.



Sıra Sizde 2.6

Aralarında 30 cm uzaklık bulunan paralel A ve B levhaları 240 V büyüklüğündeki bir üretece şekildeki gibi bağlanmıştır. A levhası yakınlarında ilk hızsız serbest bırakılan bir proton için



a) Üzerine etki eden kuvvetin yönünü ve büyüklüğünü,

b) İvmesini,

c) B levhasına ulaşana kadar elektriksel kuvvetin yaptığı işi,

ç) B levhasına çarpma hızını,

d) A levhasından B levhasına ulaşma süresini bulunuz.

($q_p = 1,6 \cdot 10^{-19}$ C, $m_p = 1,6 \cdot 10^{-27}$ kg alınız. Yer çekimi ivmesini ihmal ediniz.)

Yüklü Parçacıkların Düzgün Elektrik Alanındaki Davranışlarının Teknolojideki Uygulamaları

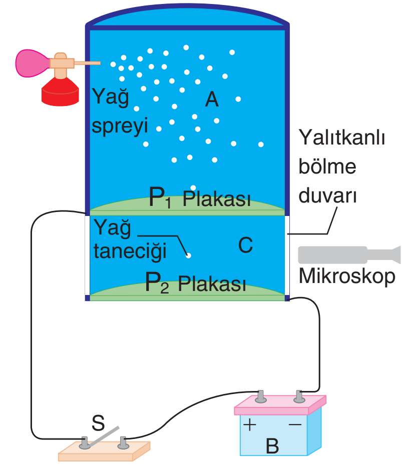
Yüklü parçacıklar, elektrik alan içinde iken üzerlerine uygulanan elektriksel kuvvet sayesinde büyük ivmelere ve çok kısa zamanda büyük hızlara ulaşabilir. Yüklü paralel levhalar arasındaki yüklü cisimlere uygulanan elektriksel kuvvetin, levhalar arasında sabit bir ivmeye sebep olması elektron yükünün büyüklüğünün hesaplanmasında oldukça önemli bir rol oynamıştır.



Okuma Parçası

Millikan (Milikan) Deneyi

Thomson (Tamsın) tarafından 1897'de, bilinen ilk atom altı parçacık olan elektronun yük bölü kütle (q/m) oranının ölçülmesinden sonra geriye elektronun yükünü ve kütlesini ayrı ayrı belirleyebilmek kalıyordu. Elektronun yükünü belirlemeye yönelik ilk deneyler 1890'ların sonlarına doğru Thomson ve meslektaşları tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu deneylerde elektronun yükünü ölçebilmek için su damlaları kullanılmıştır. Millikan'ın (Milikan) elektronun yükünü ölçmeye yönelik ilk çalışmaları 1906' ya rastlar. Millikan, deney yönteminde bir iyileştirme yaparak su damlaları yerine yağ damlaları kullanmıştır. Millikan' ın deneyindeki temel düşünce, paralel iki plaka arasında düzgün bir elektrik alan ve yer çekimi etkisi altında hareket eden, yüklü, bir tek yağ damlasının hızını ölçerek damlanın elektrik yükünün bulunabilmesidir (Şekil 2.24). Millikan, deneyini birçok yağ damlası için tekrarlayarak elektronun yükünü ölçmüştür. Millikan, deney sonuçlarını 1913 yılında "On the Elemantary Electrical Charge and the Avogadro Constant" isimli makalesinde yayınlamış ve bu çalışmasından dolayı 1923 yılında Nobel Fizik Ödülü'nü almıştır. Bu odanın yan tarafına bir-iki tane delik açılmıştır. Bu deliklerin boyutları, kapasitörün boyutları yanında çok küçüktür. Yağ damlalarının, bir püskürtücü yardımıyla püskürtülerek bu delikten geçmeleri ve odaya girmeleri sağlanır. Burada püskürtücü atomlaştırıcı görevi görür yani yağ damlalarının mikroskobik boyutlarda olmasını sağlar. Yağ damlaları püskürtülürken deliğin çeperleri ve oda içindeki hava molekülleri ile çarpışırlar. Böylelikle yağ damlaları sürtünme ile elektriklenmiş olur. Yağ damlalarının bazıları pozitif, bazıları da negatif elektrik yükü ile yüklenir. Paralel plakalar arasına bir V gerilimi uygulandığında düzlem P_1 ve P_2 levhaları arasında düzgün E = V/d (d: levhalar arası uzaklık) elektrik alanı oluşur.



***Şekil 2.24** Millikan, şekildeki düzeneği kullanarak elektron yükünü ölçmeyi başarmıştır.*

Millikan, bu plakalar arasına bir gerilim uygulayarak yüklü yağ damlalarının aşağı ve yukarı doğru hareketlerini gözlemlemiştir. Millikan deneyini birçok yağ damlası için tekrarlayarak elektronun yükünü $1.592 \cdot 10^{-19}$ C olarak bulmuştur. Bugün elektron için ölçülen en iyi yük değeri $1.602189 \cdot 10^{-19}$ C , Millikan' ın 1913' te açıkladığı değerle oldukça yakındır.

Okuma Parçası

Mürekkep Püskürtmeli Yazıcılar

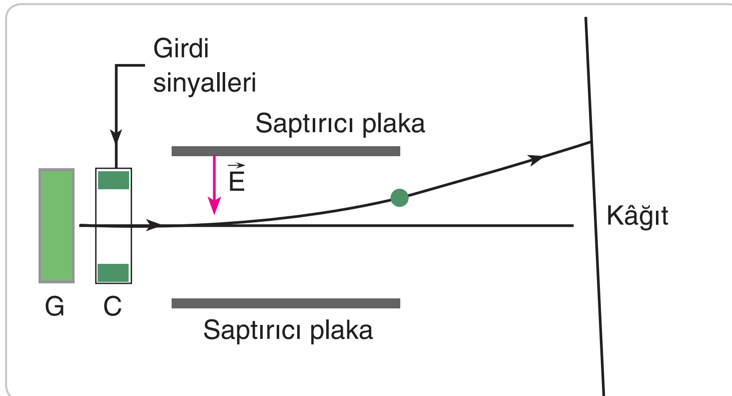


Görsel 2.15 *Bir daktiloda basılan harfler vurma şiddeti ile kağıda aktarılır.*

"El yazısını matbaalardakine benzer usulde basılmış harflerle değiştirebilen makine" diye adlandırılan daktilo (Görsel 2.15), birçok mucidin zaman içinde çalışmaları ile bildiğimiz şeklini aldı. 1808'de Pellegrino Turri görme engelli dostu Kontes Carolina Fantoni'nin kolay yazı yazabilmesi için bir cihaz icat etti. 1829'da William Austin Burt tarafından "tipograf" isimli bir yazı makinesi geliştirdi. Bu makine elden daha yavaş yazıyordu. İlk pratik daktilo ise Hansen (Danimarka) tarafından 1865'te icat edildi. Sholes,1871'de bununla ilgili yenilikler için patent aldı ve bugün tüm dünyada kullanılan "Q" klavyeli ilk daktiloyu icat etti. (Çağdaş daktilo ve bilgisayar klavyelerinin öncüsüdür.) 1876'da ismi değişti ve Remington No.1 olarak ününü korudu. Bu daktilo bir dikiş makinesinin üzerine yerleştirildi. Sholes'in yaptığı makineyi inceleyen Thomas Edison, elektrikle çalışabileceğini söyleyerek üzerinde çalışmaya başladı. Edison, çubuğun elektromıknatısla hareket ettiği elektrikli daktilo makinesi yaparak 1872'de patentini aldı. 1930'da seri halde elektrikli makinelerin satışına başlandı.

Hayatımıza bilgisayarların girmesi neticesinde bir zamanlar tarihe tanıklık etmiş daktilolar tarihe karışmış oldu. Hindistan'da bulunan dünyanın son daktilo fabrikası, 2011 yılında kapısına kilit vurduğunu açıkladı. 2009 yılına kadar yıllık 10 bin ila 12 bin daktilo üreten fabrika artık buzdolabı üretim merkezine dönüştürüldü.

Düzgün elektrik alanlardan faydalanarak yüklü taneciklerin istenen hedefe varması ilkesi kullanılarak Şekil 2.25'teki düzeneğin kullanıldığı mürekkep püskürtmeli yazıcılar geliştirildi. Bu düzenekteki gibi yüklü iki paralel levha arasında hareket eden negatif yüklü mürekkep damlacıklarının sabit bir elektrik alan etkisinde kâğıt üzerindeki hedef noktaya ulaşması ve elektrostatik kuvvet etkisi ile kâğıda yapışması sağlanmaktadır. Kâğıt üzerindeki hedef ise girdi sinyalleri bölümünde, mürekkep damlacıklarına verilen ve önceden belirlenen q yükünü ayarlamakla yapılmaktadır.



Şekil 2.25 *Mürekkep püskürtmeli yazıcıda düzgün bir elektrik alan içine, yükü önceden belirlenen yüklü damlacık gönderildiğinde damlacığın hedefe varması sağlanır.*



Araştırma Görevi

1. ünitede kuvvetin harekete etkilerini, 2. ünitenin buraya kadar olan bölümünde ise yüklü taneciklere elektrik alanda uygulanan kuvvetleri ve bu kuvvetlerin etkilerini öğrendiniz. Bu bilgiler teknolojide birçok alanda kullanılmaktadır. Bu uygulama alanlarından ikisi olan Millikan Deneyi ve mürekkep püskürtmeli yazıcılar örnek olarak bu ders kitabında anlatılmıştır.

Sizden istenen görev, yüklü parçacıkların elektrik alandaki davranışlarının teknolojideki kullanım alanlarını araştırıp bir sunu hazırlamanızdır.

Araştırmanızı yaparken

1. Araştırma planlaması yapınız.

2. Kaynak teşkil edecek Genel Ağ sitelerini, kitapları, bilimsel makaleleri, üniversitelerin yayınlarını kullanınız.

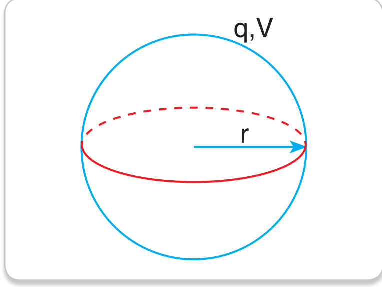
3. Araştırmanızı görsel ögelerle destekleyiniz.

4. Hazırladığınız sunuyu arkadaşlarınızla paylaşınız. Paylaşım sırasında yararlandığınız her türlü kaynağı belirtiniz.

2.3.4. Sığa (Kapasite)

Fizik, kullanım alanı bakımından oldukça geniş bir bilim dalıdır. Fizik aynı zamanda birçok mühendislik alanına da kaynaklık eder. Mühendisler tarafından tasarlanan elektronik, mekanik, optik vb. araçlar için gerekli temel bilimi sağlar. Örneğin karanlık bir ortamda fotoğraf çekmek için gerekli ışığın sağlanması, paralel iki levhanın elektrik yükü ile yüklenmesi ve bu yükün aniden flaş adı verilen özel bir lamba üzerinde boşalması ile gerçekleşir. Temelde elektrik yüklü cisimlerin üzerinde depo edilen enerjinin ani bir şekilde deşarj olması günlük hayatta da birçok şekilde karşımıza çıkar. Yeryüzünden belli bir yükseklikteki bulutların sürtünme ile elektriklenmesinden sonra bu enerjinin yeryüzüne şimşekle aktarılması, gün içindeki hareketlerimiz sonucunda vücudumuzda biriken elektriğin kapı koluna aktarılması çok kısa bir zamanda gerçekleşmekte ve bu aktarımlar sırasında gözle görülebilir bir parlak ışık ortaya çıkmaktadır. Peki, vücudumuzda, bulutlarda ya da bir levha üzerinde toplanan elektrik yükünün bir sınırı var mıdır? Bir cisim üzerinde ne kadar yük depo edilebilir? İşte bu soruya karşılık gelen cevap bizi yeni bir kavram arayışına iter.

Bir cismin, üzerinde elektrik yükünü depo edebilme yeteneğine “**kapasite**” veya “**sığa**” denir.



Şekil 2.26 *Küresel bir cisim üzerinde depo edilen yük miktarı ile oluşan potansiyel doğru orantılıdır.*

Elektrik enerjisini depo etmeye neden ihtiyaç duyulur? Öncelikle bu soruya cevap vermek sonrasında ise depolamaya bir çözüm üretmek gerekir.

Şekil 2.26’daki gibi iletken bir küreyi ele alarak sığa kavramını biraz daha inceleyelim. Bu küre üzerinde depo edilen yük q kadar olduğunda kürenin yüzeyinde (ve içinde) oluşan potansiyel V kadar olsun. Oluşan bu potansiyel $V = k \cdot \frac{q}{r}$ ifadesi ile bulunur. Bu ifadede yük miktarı ile potansiyelin doğru orantılı olduğu anlaşılır. Eğer $\frac{q}{V}$ oranı yazılacak olursa $\frac{q}{V} = \frac{r}{k}$ elde edilir ki burada r ve k sabit sayılar olduğundan $\frac{q}{V}$ oranının da sabit olduğu görülür ve bu sabit sığa olarak adlandırılır. Sığa “C” ile gösterilirse $C = \frac{q}{V}$ olarak yazılabilir. Burada incelediğimiz kürenin sığası $C = \frac{q}{V} = \frac{r}{k}$ şeklinde yazılır. Bu C değeri sabit olduğundan yüke veya potansiyele bağlı değildir. Öyle ise kürenin sahip olması istenen potansiyel değerine göre yük değeri hesaplanarak depolanması sağlanabilir. Fakat sığa, depolama yapılan cismin şekline ve bazen kullanılan malzemeye göre değişiklik gösterebilir.

$C = \frac{q}{V}$ tekrar düzenlenerek $q = C \cdot V$ şeklinde yazılabilir.

Sığa için birimler Tablo 2.6’da gösterilmiştir.

Tablo 2.6 *Sığa için birim tablosu*

Nicelik	Yük miktarı	Potansiyel	Sığa
Sembol	q	V	C
Birim	C	V	C/V

Tabloda görüldüğü gibi sığa birimi olarak coulomb/volt kullanılır. Bu birim özel olarak farad olarak adlandırılır ve F ile gösterilir. Birimlere bakarak sığa için **“1 volt başına düşen yük miktarı”** tanımı da yapılabilir. Ayrıca 1 farad = 1 coulomb/volt olacağından farad oldukça büyük bir birimdir. Bu yüzden pratikte farad yerine genellikle mikrofarad $(1\mu F = 10^{-6} F)$ ya da pikofarad $(1pF = 10^{-12} F)$ birimleri kullanılır.

Elektrik enerjisi değişik kaynaklardan elde edilebilir. Örne-

ğin güneş enerjisi, elektrik enerjisine dönüştürülebilir. Ancak bu enerji depolanamazsa güneş enerjisi ile çalışan araç geceleri çalışamaz. Yani temel olarak enerji üretimi ile enerji tüketiminin eşzamanlı olmayışı, enerjinin depo edilme nedenlerinden biri olarak karşımıza çıkar. Elektrik enerjisi günümüzde iki temel şekilde depo edilmektedir. Bunlardan biri Görsel 2.16'da görülen pillerdir. Piller elektrik enerjisini kimyasal yollarla depo eder. Kullanım alanlarına göre farklı potansiyellere ve farklı şekillere sahiptirler.



Görsel 2.16 *Piller elektrik enerjisini kimyasal yollarla depo eder.*

Elektrik enerjisi depo etmekte kullanılan diğer bir araç da Görsel 2.17'de görülen sığaçlardır. Sığaçlar da kullanım yerlerine göre farklı şekillere ve farklı ebatlara sahiptir. Pillerden farklı olarak elektrik enerjisini kimyasal yolla değil içindeki plaka adı verilen iletken levhaların yüklenmesi ile depolar.



Görsel 2.17 *Sığaçlar içlerindeki plakalar yardımı ile elektrik yüklerini depo eder.*



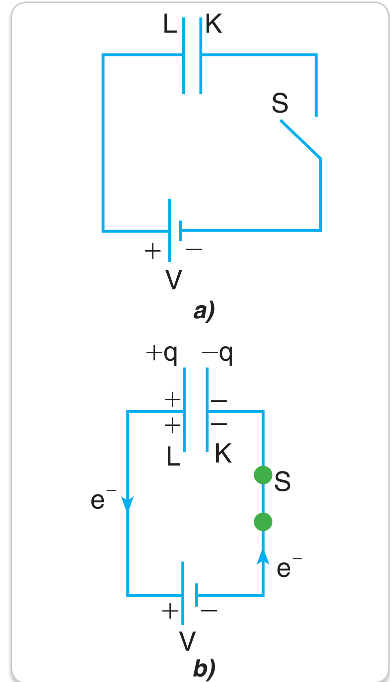
Sıra Sizde 2.7

Küre şeklindeki bir iletkenin sığası $C = \frac{q}{V} = \frac{r}{k}$ şeklinde ifade edilir. Buna göre bir kürede q yükü varken sığası C ise yükü 2q yapıldığında sığası kaç C olur?

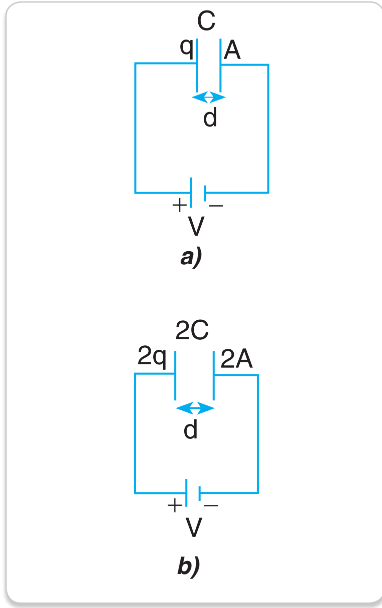
2.3.5. Sığanın Bağlı Olduğu Değişkenler

Sığaçlar, elektrik enerjisini zıt yükle yüklenmiş iki plakanın karşılıklı konulması ile elde edilen elektrik alan içinde depo ederler. Şekil 2.27'deki gibi bir üretece bağlı iki düzlem levhayı inceleyerek bir sığacın yüklenmesini inceleyelim. Bir sığaç devrede ⊣⊢ şeklinde gösterilir.

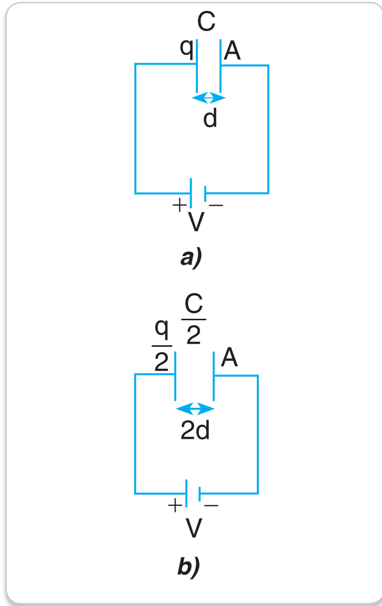
Şekil 2.27.a'daki gibi bir üreteç, bir anahtar ve yüklenmemiş bir sığaç iletken teller yardımı ile bağlanarak bir devre oluşturulur. Henüz anahtar kapatılmadığı için devrede bir yük hareketi oluşmaz ve sığaç henüz yüklü değildir. Şekil 2.27.b'deki gibi anahtar kapalı duruma getirildiğinde devre tamamlanır. Üretecin "–" kutbunun bağlı olduğu K levhası "–" yükle yüklenirken üretecin "+" kutbuna bağlı olan L levhası "+" yükle yüklenir. Bu sırada L'den K'ye doğru bir elektrik alan oluşur ve bu elektrik alan içinde enerji depolaması gerçekleşir. K levhasında – q yükü



Şekil 2.27 *Sığaç bir pile bağlandığında, levhaları zıt yüklerle yüklenir.*



Şekil 2.28 Sığacın plakalarının genişliği artırıldığında sığa da aynı oranda artar.



Şekil 2.29 Sığacın plakaları birbirinden uzaklaştıkça sığa uzaklaşma oranında azalır.

birikirken L levhasında +q yükü birikir. Bu iki yük, büyüklük olarak birbirine eşit olup sığaçta depo edilen yük bu levhalardaki yüklerden birinin büyüklüğüne eşittir. Anahtar açılmadan önce K ve L levhalarının yükü olmadığından aralarındaki potansiyel fark sıfırdır. Ancak anahtarın kapatılması sonucunda elektron akışı nedeni ile aralarındaki potansiyel fark artar ve levhalar arasındaki potansiyel fark üretecin V potansiyeline ulaşana kadar yükleme devam eder. Sığacın uçları arasındaki potansiyel fark, üretecin potansiyeline eşit olduğu anda sığaç tam dolar. Tam dolmuş bu sığaç için,

$q = C \cdot V$ eşitliği yazılabilir.

Bir sığacın sığası özelliklerine göre değişkenlik gösterir. Şimdi sığanın nelere bağlı olduğunu görmek için; *https://phet.colorado.edu/tr/simulation/legacy/capacitor-lab* adresine giriniz.

Yukarıdan "Dielektrik" bölümünü seçiniz. Sağ tarafta "göster" bölümünden "Plakanın Yükü", "Ölçü Araçları" bölümünden "Sığa" kutucuklarını işaretleyiniz.

Simülasyon üzerinde,

• Levhaların alanını artırıp azaltarak sığa değerini not alınız.

• Levhalar arasındaki uzaklığı artırıp azaltarak sığa değerini not alınız.

• Levhalar arasına dielektrik katsayısı farklı maddeler koyarak ya da dielektrik katsayısını değiştirerek sığa değerini not alınız.

Sığanın bağlı olduğu değişkenleri belirlemek için bu sonuçları arkadaşlarınızla değerlendiriniz.

Levhaların alanı 2 katına çıkarılınca sığa değeride 2 katına çıkar. "Sığa, levhaların alanı ile doğru orantılıdır." (Şekil 2.28).

Levhalar arasındaki uzaklık 2 katına çıkarsa sığa yarıya düşer. "Sığa, levhalar arası uzaklıkla ters orantılıdır." (Şekil 2.29).

Levhalar arasındaki maddenin dielektrik katsayısı k katına çıkarsa sığa da k katına çıkar. "Sığa, dielektrik katsayısı ile orantılıdır." (Şekil 2.30).

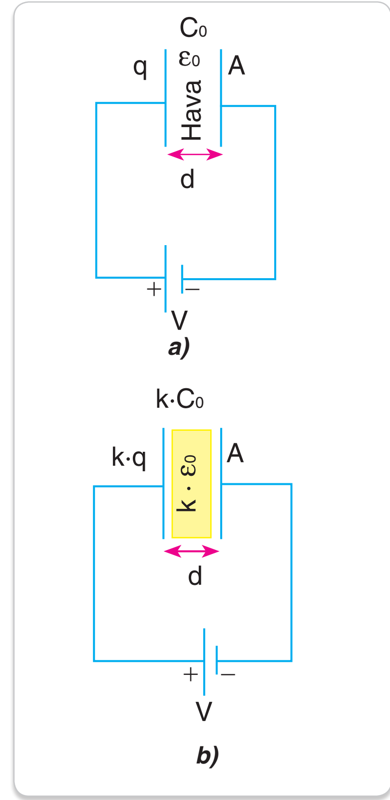
ε: Levhalar arasındaki maddenin elektriksel geçirgenliği (F/m)

A: Levhalardan birinin alanı (m^2)

d: Levhalar arası uzaklık (m) olmak üzere sığanın matematiksel modeli $C = \varepsilon \cdot \frac{A}{d}$ şeklinde yazılabilir. Yalıtkan madde olarak

hava kullanıldığında sığa, $C_0 = \varepsilon_0 \cdot \frac{A}{d}$ şeklinde yazılırken aynı sığacın levhaları arasına havadan k kat daha yalıtkan madde konulursa sığa da k katına çıkar. $C = k \cdot C_0$ olur.

Piyasada birbirinden farklı sığalara sahip birçok sığaç bulunmaktadır. Sığa, sığaç üzerine uygulanan gerilime veya depo edilen yük miktarına değil, tamamen kendi özelliklerine bağlı bir büyüklüktür. Bazı yalıtkan maddelere ait elektriksel geçirgenlik katsayıları Tablo 2.7'de verilmiştir.

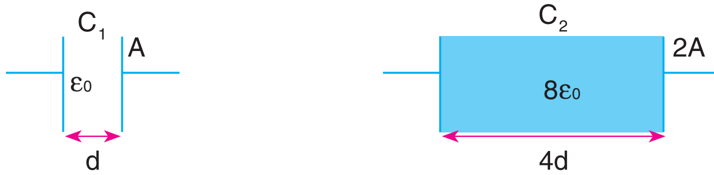


Şekil 2.30 *Sığaçta kullanılan yalıtkanın cinsine göre sığası değişir. **a)** Yalıtkan olarak hava kullanılan sığaç için sığa C_0 ile gösterilir. **b)** Yalıtkan olarak havadan k kat daha yalıtkan bir malzeme kullanılırsa sığa da k kat artar.*

Tablo 2.7 *Bazı maddelerin elektriksel geçirgenlik katsayıları*

Madde	Ortamın dielektrik kat sayısı (F/m)
Boşluk	$8,85.10^{-12}$
Hava (1 Atm.)	$8,85.10^{-12}$
Cam	$(45-90)10^{-12}$
Lastik	$(22-300)10^{-12}$
Mika	$(27-54)10^{-12}$
Tahta	$(22-72)10^{-12}$
Su (18°C)	717.10^{-12}
Parafinli kâğıt	18.10^{-12}

ÖRNEK 16



Levhalarının alanı A, aralarındaki uzaklık d olan ve kullanılan yalıtkan hava olan sığaç için sığa C_1; levhalarının alanı 2A, aralarındaki uzaklık 4d olan ve havadan 8 kat daha yalıtkan bir madde kullanılan sığaç için sığa C_2 olduğuna göre $\frac{C_1}{C_2}$ oranını bulunuz.

ÇÖZÜM

Bir sığacın sığası fiziksel özellikleri bakımından $C = \varepsilon \cdot \frac{A}{d}$ şeklinde ifade edilmekte idi. Bu ifadeyi her iki sığaç için ayrı ayrı yazalım.

$C_1 = \varepsilon_0 \cdot \frac{A}{d}$ ve $C_2 = 8\varepsilon_0 \cdot \frac{2A}{4d}$ olur.

$\frac{C_1}{C_2} = \frac{\varepsilon_0 \cdot \frac{A}{d}}{8\varepsilon_0 \cdot \frac{2A}{4d}}$ ve gerekli sadeleştirmeler yapıldığında

$\frac{C_1}{C_2} = \frac{1}{4}$ bulunur.

Bu şekilde levhaların alanı, aralarındaki uzaklık ve kullanılan yalıtkan değiştirilerek sığanın 4 katına çıkması sağlanmıştır.



Sıra Sizde 2.8

Yalıtkan olarak hava kullanılan bir sığacın sığası C iken 12C yapılmak isteniyor. Buna göre;

I. Elektriksel geçirgenliği havanınkinin 3 katı olan bir malzeme kullanmak,

II. Levhaların alanlarını iki katına çıkarmak,

III. Levhalar arası uzaklığı 1/4'e düşürmek,

işlemlerinden hangilerini tek başına ya da birlikte yapmak gerekir?

A) Yalnız I **B)** I ve II **C)** II ve III **D)** I ve III **E)** I, II ve III

2.3.6. Sığacın İşlevleri

Sığaçlar, elektrik ve elektronik devrelerin vazgeçilmez temel elemanlarındandır. Piyasada sığaç, kapasitör, kapasite gibi farklı isimlerle de anılır. Bu bölümde sığaçların doğru akım devrelerinde yük ve enerji depolamanın yanında akım kesici özelliklerinin olduğunu öğrendiniz. Sığaçlar yalnızca doğru akım devrelerinde değil alternatif akım devrelerinde de sıkça kullanılır. Sığaçların doğru akım ve alternatif akım devrelerinde gösterdiği davranışlar

pek çok görevde kullanılmasını sağlar. Örneğin fotoğraf makinelerinin flaş devreleri bunlardan biridir. Aşağıdaki kısımda sığaçların kullanım alanlarından iki tanesi kısaca anlatılmıştır.

1) Elektrik Enerjisi Depolamak

Fotoğraf makinesi flaşlarının çalışması için enerji depolayan araçlar sığaçlardır. Flaşa bağlanan sığaç önce pil tarafından doldurulur ardından çekim anında devreye sokulur ve depolanmış yüksek enerji bir anda boşaltılır.

2) Bilgi Kaybını Önlemek

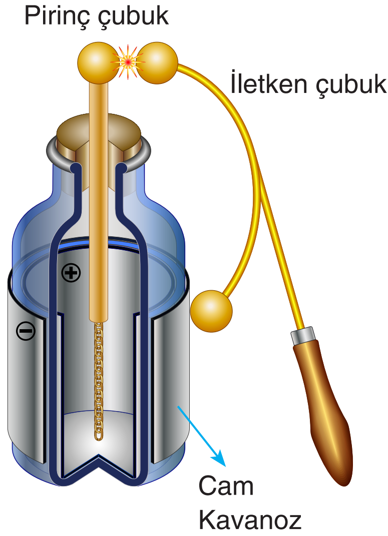
Sığaçlar, elektronik alet herhangi bir sebeple kaynaktan ayrılırsa aletin bir süre daha işlev görmesini sağlamakta da kullanılır. Bunlara örnek olarak hoparlörler verilebilir. Dinlenilen sesin önemli olabileceği düşüncesiyle hoparlörlerde bulunan sığaçlar, kaynak gerilimi kesildiği zaman birkaç saniyeliğine de olsa hoparlörün çalışmasını ve ses kaybı olmamasını sağlar. Hoparlörün çalıştığı süre boyunca sığaçta depolanan enerji, kaynağın kesintiye uğramasının ardından hoparlöre verilir ve böylece ses bir süreliğine kesilmez.

Sığaç, kendisini besleyen kaynak tükendiği zaman hafızasındaki bilgiyi kaybeden elektronik aletler için geçici de olsa çözüm oluşturur. Dijital kol saatleri, bazı bilgisayar parçaları, cep telefonları bu tür aletlere örnek olarak verilebilir. Dijital saatler ve cep telefonlarında bulunan sığaçlar, pil tükendiği zaman bazı önemli bilgilerin kaybolmaması için devreye girer. Sığaç belli bir süre sonra yeniden depolanmadığından boşalacaktır ve bulunan çözüm geçici olacaktır. Bazı cep telefonlarının bataryalarının birkaç saniyeliğine çıkarılıp geri takıldığında açılışta saati hatırlaması, daha uzun süreli pilsiz bırakmada ise açılışta saati yeniden sormasının sebebi de budur. Çünkü sığaç o hafızayı sadece birkaç saniyeliğine tutacak şekilde tasarlanmıştır. Günümüzde kullanılan cep telefonlarında ise daha uzun süreli hafıza koruma yapabilen sığaçlar kullanılmaktadır.



Okuma Parçası

LEYDEN KAVANOZU



Şekil 2.31 *Leyden kavanozu bugünkü sığaçların temelini oluşturur.*

Hollandalı fizikçi Pieter van Musschenbroek'un (Pitır van Maşınburuk) Leyden (Leyden) Üniversitesindeyken yaptığı elektrik depolayan aygıtı, kondansatörlerin ilk hâli gibiydi (Şekil 2.31). Elektrik, bilinen ve sürtünme yoluyla elde edilebilen bir olguydu. 1700'lü yılların başında bu konu üzerinde çalışan bilim insanları elektrik elde etmenin yanında bu enerjiyi depolamanın yollarını arıyorlardı. Musschenbroek, yalıtkan ipekten iplerle asılmış metal bir kabın içine su koydu ve bir tıpanın içinden suya pirinçten bir çubuk daldırdı. Suda bir elektik yükü oluşmuştu. Fakat bir süre kimse bunun farkına varmadı. Kimse, rastlantı eseri bir asistanın kabı kaldırıp tıpanın dışındaki pirinç tele dokunana kadar alette ne kadar elektrik biriktiğini fark etmemişti. Kap aniden biriktirdiği bütün yükünü boşalttı ve asistanın bir şok geçirmesine neden oldu. Bu bir insanı çarpan ilk yapay yüksek elektrik yüküydü. Leyden kavanozunun elektrik depolayabilir olması, çeşitli çalışmaların başlangıcı oldu. Hastalıkların elektrikle tedavi edilmesi ve diğer elektrik deneyleri bu sayede başladı.

Aynı tarihlerde neredeyse eş zamanlı olarak Alman fizikçi Ewald Georg Von Kleist (İvald Corc Von Klayst) da benzer bir aygıt yapmıştı. Şarjın kuvvetini ise yanlışlıkla kendi üzerine boşaltarak keşfetti. Bu olay onu o kadar etkilemişti ki kral olacağını bilse bile bir daha bu şoku yaşamak istemediğini söyleyerek çalışmalarına son verdi. Musschenbroek'un aygıtını popülerleştirmesi ve bu olayı Hollanda'da Leyden Üniversitesinde yaşaması nedeniyle elektrik depolayan aygıta "Leyden Kavanozu" denildi.



Okuma Parçası

ENERJİ DEPOLAMA ALANINDA DEVRİM

Batarya kadar uzun ömürlü, hafif ve küçük boyutlu süper kapasitörler (sığaç) geliyor.

Dünya Bülteni / Haber Merkezi

Avustralyalı bilim insanları, batarya kadar uzun ömürlü, küçültülmüş boyutlarda süper kapasitör üretmenin önünü açacak önemli bir mühendislik başarısına imza attı. Profesör Dan Li (Den Li) başkanlığındaki Monash (Moneş) Üniversitesinden bilim insanlarının geliştirdiği yeni, süper kapasitör üretme stratejisi, bilim dünyasını yeni nesil enerji depolama teknolojisine yaklaştırdı.

Yeni geliştirilen strateji sayesinde süper kapasitörler artık yenilenebilir enerji depolamadan, taşınabilir elektronik donanımı ve elektrikli araç üretimine kadar çok geniş bir kullanım alanına kavuşabilecek. Elektronik ve elektrik devrelerinin son derece yararlı bir unsuru olan süper kapasitörler, normal kapasitörlere göre 2-3 kat daha fazla enerji depolama kapasitesine sahip bulunuyor. Neredeyse sınırsız bir ömre sahip olmaları ve saniyeler içinde yeniden şarj edilebilmeleri bu cihazların en önemli özelliğini oluşturuyor.

Buna karşılık enerji yoğunluklarının (hacim başına elektrik enerjisi depolama) düşük olması, bu cihazların ya boyutlarının kendilerini kullanışsız kılacak kadar büyümesi ya da sıklıkla yeniden şarj edilmeye ihtiyaç duyulması sorununu ortaya çıkarıyor. Bu, normalde 5-8 wh/litrelik (vatsaat / litre) enerji yoğunluğuna sahip süper kapasitörlerin normal bataryalar karşısındaki en büyük dezavantajını oluşturuyor. Ancak yeni üretim stratejisiyle bu sorunu aşan Li başkanlığındaki bilim ekibinin ürettiği, 60 Wh/litre ile normal süper kapasitörlere göre 12 kat daha büyük enerji yoğunluğuna sahip grafen tabanlı yeni süper kapasitör, bu cihazların piyasada kullanılan kurşun-asitli bataryalarla kıyaslanabilir hâle getirilebileceğini ortaya koydu.

FARK NEREDE?

Süper kapasitörler normalde elektrik yükünü iletmek için sıvı elektrolite doyurulmuş gözenekli karbondan üretiliyor. Li başkanlığındaki bilim ekibi, süper kapasitörde kullandıkları eşsiz özellikleri olan elektrodu yapmak için daha önce kendileri tarafından üretilmiş, grafenden yapılan, uyarlanabilir, jel biçimindeki zardan yararlandı. Grafen tabakalar arasındaki nanometre altı inceliğindeki araları kontrol edebilmek için, bilinen süper kapasitörlerden genellikle geçirgen olarak kullanılan sıvı elektrolitleri kullanan bilim insanları, bu şekilde sıvı elektrolitlerin hem grafen tabakalar arasındaki çok

ince boyuttaki arayı korumasını hem de elektrik iletmesini sağladı.

Normal süper kapasitörlerdeki tabakalar arasındaki arayı gereksiz ölçüde büyüten sert gözenekli karbon yerine, yeni süper kapasitörde kullanılan grafen jelden oluşan zar, elektrotta gözeneklilikten taviz verilmeden, enerji yoğunluğunun azami seviyeye çıkarılmasını sağladı.

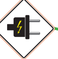
Grafen tabanlı süper kapasitördeki malzemeyi bilinen kâğıt yapma yöntemiyle ürettiklerini anlatan araştırmacılar; bunun, bu işlemi kolaylaştırdığına ve maliyetini de etkin bir ölçüde sanayi kullanımına elverişli hâle getirdiğine dikkati çekti.

Ürettikleri işlevi artırılmış grafen malzemenin, daha önce elde edilenlerin bir adım ötesinde olduğunu belirten Li, bu maddenin neredeyse laboratuvar aşamasından çıkıp ticari geliştirme safhasında olduğunun altını çizdi.

Sığaçlar, kullanıldıkları devrelerde farklı işlevlere sahiptir. Bir doğru akım devresinde tamamen yüklenene kadar devrede yük geçişine izin verirken tamamen yüklendikten sonra yük geçişine izin vermez. Deney 2.2'ü yaparak sığacın bu özelliğini görünüz.



Deney 2.2



Araç Gereçler

- Direnç (2 kΩ)
- LED lamba
- Sığaç (100 µF)
- Pil ve pil yatağı
- Bağlantı kabloları
- Anahtar

Sığaç Akımı Kesiyor

Amacı: Sığacın yüklenmesi sırasındaki davranışının analiz edilmesi

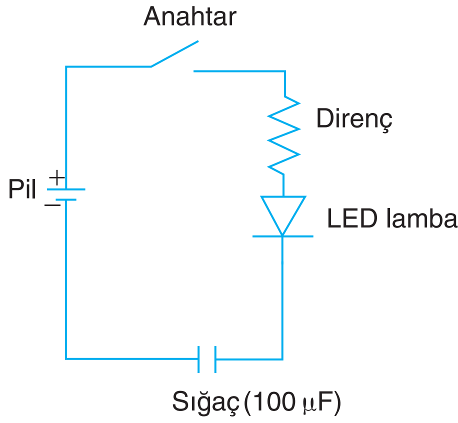
Deneyin Yapılışı

- Bağlantı talimatlarını izleyerek şekildeki devreyi kurunuz.

a) Pili önce pil yatağına takıp "+" kutbunu önce bir anahtara, anahtarın diğer ucunu da dirence bağlayınız. Direncin diğer ucunu LED'in "+" ucuna bağlayınız. (Direncin "+" ve "–" ucu yoktur. Ancak LED lambanın ve sığacın "+" ve "–" uçları vardır.)

b) Pilin "–" kutbunu ise sığacın "–" uçlu ayağına bağlayınız.

c) Sığacın "+" uçlu ayağını ise LED'in kalan "–" ucuna bağlayınız.



➤ Devre tamamlandıktan sonra bağlantıların doğruluğunu kontrol ediniz. Bağlantılarda herhangi bir yanlışlık yok ise anahtarı kapatıp devreyi tamamlayınız. Anahtarı kapattıktan sonra LED lambayı gözlemleyiniz.

➤ LED lamba söndükten sonra dikkatlice pil yuvasına gelen bağlantıları sökünüz. Pil yatağının iki tarafından söktüğünüz kablo uçlarını birbirine değdiriniz. Yeni durumda LED'in yanıp yanmadığını gözlemleyiniz.(LED'den direnci sökmeyiniz.)

Sonuca Varalım

➤ Anahtarı kapattıktan sonra LED lamba için ne gözlemlediniz? Bu durumu nasıl açıklarsınız?

➤ Pili devreden çıkardıktan sonra yaptığınız yeni bağlantı sonucunda ne gözlemlediniz? Gözlemlediğiniz olayı açıklayınız.

Sığaç bu devredeki gibi bir doğru akıma bağlandığında başka, bir alternatif akıma bağlandığında başka bir şekilde işlev görür. Yaptığınız deney sonucunda bir sığacın doğru akım devresindeki davranışını inceledik. Sığaçların alternatif akım karşısındaki davranışı ise alternatif akım konusunda ayrıca incelenecektir.

Anahtarı kapattıktan hemen sonra LED lamba yanarken bir süre sonra sönmüştür. Sığaç tamamen yüklenene kadarki süreçte devreden akım geçmiş ve lambayı yakmıştır. Sığaç tamamen dolduğunda ise devre akımı sona ermiş ve LED lamba sönmüştür. Yani sığaç tamamen dolduktan sonra, bir doğru akım devresinde sonsuz direnç göstererek akımı kesmiştir.

Pili devreden çıkardığımız durumda ise lambanın tekrar yanmasının sebebi yüklü sığacın devreye gerekli elektrik enerjisini sağlamasından kaynaklanmaktadır.



2. ÜNİTE: 3. BÖLÜM DEĞERLENDİRME SORULARI

A. Aşağıdaki cümlelerde boş bırakılan yerleri uygun kelimeleri kullanarak tamamlayınız.

sığa | sığaç | uzaklık | yük | skaler | vektörel | elektrik alan

1. Bir cismin yük tutabilme kapasitesine .... denir.
2. Yüklü paralel levhalar arasında oluşan .... , ... büyüklüktür.
3. .... , devrede enerji depolamaya yarayan elektronik devre elemanlarından birisidir.
4. Bir sığacın levhaları arasındaki .... artarsa sığası azalır.
5. Bir üretece bağlı, yalıtkan olarak hava kullanılan ve düzlemsel iki levhadan oluşan sığacın levhaları arasına dielektrik sabiti havadan büyük bir madde konulursa sığaçta depo edilen .... artar.

B. Aşağıdaki cümlelerin başına doğru ise "D", yanlış ise "Y" yazınız.

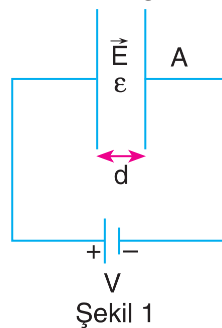
1. ( ) Bir sığacın üzerindeki gerilim artırılırsa sığası artar.
2. ( ) Bir pile bağlanan paralel levhalar arasındaki her yerde elektrik alan aynı büyüklüktedir.
3. ( ) Sığaçlar doğru akım devrelerinde akım kesici olarak kullanılabilir.
4. ( ) Sığaç yaparken yalıtkan malzeme olarak sıvılar kullanılamaz.
5. ( ) Bir sığacın sığası artırmak için levhalar arasındaki uzaklık azaltılmalıdır.

C. Aşağıdaki soruları cevaplayınız.

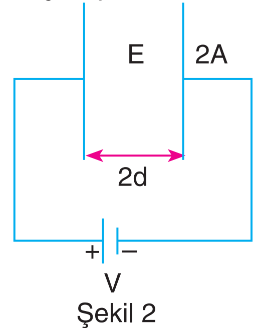
1. Yüklü paralel levhalar arasında yüklü bir cismin dengede kalma koşulu nedir?
2. Yüklü paralel levhaların arasında oluşan elektrik alan ve bu elektrik alanın bağlı olduğu değişkenler hakkında bilgi veriniz.
3. Sığaçların kullanım alanları hakkında bilgi veriniz.
4. Sığacın bağlı olduğu değişkenleri ve bu değişkenlere nasıl bağlı olduğunu açıklayınız.

Ç. Aşağıdaki problemleri çözünüz.

1. Şekil 1'deki yüklü levhalar arasında oluşan elektrik alanın büyüklüğü E kadar ise Şekil 2'deki yüklü levhalar arasında oluşan elektrik alanın büyüklüğü kaç E'dir?

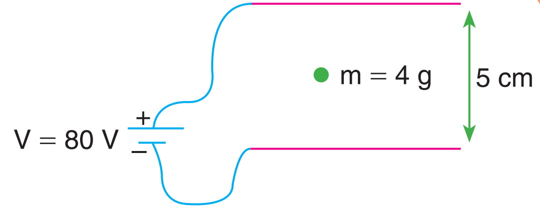


Şekil 1

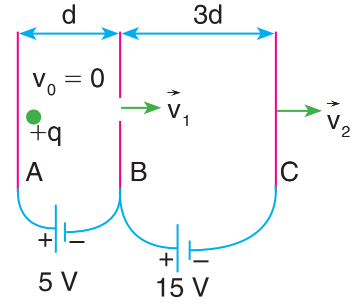


Şekil 2

2. Yükünün büyüklüğü q olan 4 g kütleli cisim, aralarında 5 cm olan ve 80 V'luk potansiyel farka sahip olan üretece bağlı levhalar arasında dengede durmaktadır. Buna göre cismin yükünü bulunuz. (g = 10 N/kg alınız.)



3. Şekildeki gibi A levhası yakınlarından serbest bırakılan +q yüklü parçacık B levhasındaki delikten $\vec{v}_1$ hızı ile geçip C levhasına $\vec{v}_2$ hızı ile çarpıyor. Buna göre $\frac{v_1}{v_2}$ oranını bulunuz.



D. Aşağıdaki test sorularını çözünüz.

1. Bir üretece bağlı paralel iki levha için

I. Aralarındaki uzaklık artarsa elektrik alan şiddeti azalır.

II. Levhaların alanları genişletilirse elektrik alan şiddeti artar.

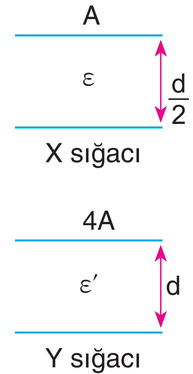
III. Levhalar arasına havadan daha iyi bir yalıtkan konulursa elektrik alan artar.

yargılardan hangileri doğrudur?

A) Yalnız I **B)** Yalnız II **C)** I ve II **D)** II ve III **E)** I, II ve III

2. Şekildeki paralel levhalardan oluşan X ve Y sığaçlarının sığaları eşittir.

Buna göre Y nin levhaları arasındaki maddenin elektriksel geçirgenliği ε′, X'in levhaları arasındaki maddenin elektriksel geçirgenliği katsayısı ε nin kaç katıdır?



A) $\frac{1}{4}$ **B)** $\frac{1}{2}$ **C)** 1

D) 2 **E)** 4

2.4. MANYETİZMA VE ELEKTROMANYETİK İNDÜKLEME

Bu bölümde;

- Üzerinden akım geçen telin, halkanın ve akım makarasının oluşturduğu manyetik alanın yönünü, manyetik alanın şiddetini etkileyen değişkenleri,
- Üzerinden akım geçen tele ve halkaya etki eden kuvvetleri analiz etmeyi,
- Yüklü parçacıkların manyetik alan içindeki hareketini analiz etmeyi,
- Manyetik akıyı ve manyetik akıyı etkileyen değişkenleri,
- Manyetik akı değişimi ile oluşan indüksiyon akımını analiz etmeyi,
- Öz-indüksiyon akımının oluşum sebebini,
- Elektrik motorunun ve dinamonun çalışma ilkelerini karşılaştırmayı öğreneceğiz.

Kavramlar

- Manyetik alan
- Manyetik kuvvet
- Manyetik akı
- İndüksiyon akımı
- Öz-indüksiyon akımı
- Lorentz (Lorenz) Kuvveti
- Elektromotor kuvvet
- Elektrik motoru
- Dinamo

UZAYA GİDEN ASTRONOTLAR

Uzaya gönderilen astronotlarda haftalarca sürebilen yorgunluk, adale ağrısı, baş ağrısı ve baş dönmesi gibi rahatsızlıklar olduğunu biliyor muydunuz? (Görsel 2.18)

İnsanı oluşturan maddelerin birbiriyle haberleşmek için kullandığı manyetik alan sinyalleri, hem birbiriyle hem de Dünya'nın manyetik alanı ile uyum içindedir. Uzaya gönderilen astronotlarda oluşan fiziksel rahatsızlıkların nedeni ilk yıllarda anlaşılamamıştı. Daha sonraki yıllarda sürdürülen kapsamlı araştırmalar sonucu bu belirtilerin Dünya'nın manyetik alanının eksikliğinden kaynaklandığı belirlenmiştir.

Hayvanların çoğu manyetik alana kolayca tepki verir. Arılar yuvalarını, kuzey-güney yönünde kurar (Görsel 2.19). Eğer yerin manyetik alanından daha güçlü bir manyetik alan uygulanırsa arılar da yuva yönlerini değiştirir.

Göçmen kuşlar, yönlerini yerin manyetik alanı yardımı ile bulur. (Görsel 2.20)



Görsel 2.18 *Uzayda çalışma yapan astronotlar Dünya'ya döndüklerinde çeşitli sağlık sorunları yaşar.*

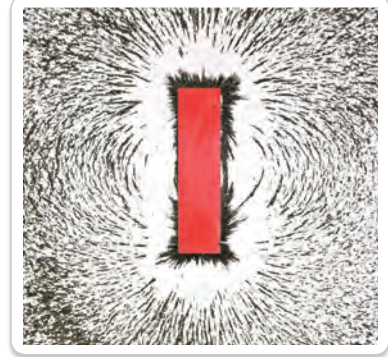


Görsel 2.19 *Arılar, yuvalarını kuzey-güney yönünde yapar.*



Görsel 2.20 *Göçmen kuşlar, göç sırasında yerin manyetik alanını kullandıkları için yönlerini kaybetmez.*

10. sınıf fizik derslerinden demir, nikel, kobalt gibi maddeleri çekme özelliği gösteren cisimlere mıknatıs denildiğini biliyorsunuz. MÖ 800'lü yıllarda doğada bulunan ve manyetit taşı olarak isimlendirilen Fe_3O_4 bileşiğinin demir parçalarını çektiği keşfedilmiştir. Mıknatısların N ve S olmak üzere iki kutbu vardır. Bir mıknatıs ikiye bölündüğünde oluşan her bir mıknatısın yine iki kutbu olur. Aynı kutupların birbirini ittiğini ve zıt kutupların birbirini çektiğini anımsayınız. Kutupların birbiri üzerine uyguladığı itme ve çekme kuvvetleri kutup şiddetlerine ve etkileşen kutupların arasındaki uzaklığa bağlı olarak değişir.



Görsel 2.21 *Çubuk mıknatısın etrafındaki demir tozları, manyetik alan çizgileri doğrultusunda dizilir.*

Bir mıknatısın manyetik etkisini gösterdiği bölgeye o mıknatısın manyetik alanı denir. Bir çubuk mıknatısın üzerine yerleştirilmiş bir cam levhaya serpilen demir tozlarının Görsel 2.21'dekine benzer biçimde oluşturduğu çizgilere, mıknatısın o bölgede oluşturduğu manyetik alan çizgileri denildiğini biliyorsunuz. Manyetik alan çizgileri birbirlerine paralel ise alanın büyüklüğü o bölgenin her yerinde eşittir ve böyle alanlara düzgün manyetik alan denir. Manyetik alan çizgilerinin seyrek olduğu noktalarda manyetik alan şiddeti daha küçük, çizgilerin sıklaştığı noktalarda ise daha büyüktür.



Okuma Parçası

HANS CHRİSTİAN OERSTED'İN (HANS KRİSTİYAN ÖRSTED) GÖSTERİ DENEYİ

Deney ve gözlem, en güçlü ve geçerli yöntem olduğuna göre doğal mıknatıslık üzerinde de çalışılmaktadır. Elektrik ve manyetik olayların bağımsız olgular olduğu düşünülüyor, nedenleri ise hiç bilinmiyordu. 1820 yılında Danimarkalı fizikçi Hans Christian Oersted (Hans Kristiyan Örşted, Görsel 2.22), bir telden geçirilen akımın, yanındaki pusulayı saptırdığını farketti. Bu gözlem, elektrik akımının bir manyetik alana yol açtığı anlamına geliyor, elektrik ve manyetik olaylar arasında güçlü bir ilişkinin varlığına işaret ediyordu. André Marie Ampère (Andre Mari Amper) birbirine paralel iki tel üzerinden akım geçirerek, aralarındaki kuvvetleri incelemeye başladı ve 1826 yılında bu manyetik kuvvetin matematiksel türetimini geliştirerek, kendi adıyla bilinen kanunu ortaya koydu. Ertesi



Görsel 2.22 *Hans Christian Oersted'in temsilî resmi*

yıl Ohm'un, elektrik direnciyle ilgili kanunu yayınlandı. 1831 yılında Michael Faraday (1791-1867), Oersted'in gözlemlediği olayın bir bakıma tersini gerçekleştirdi ve iletken bir halkadan geçirdiği manyetik alanın şiddetini değiştirerek telde akım üretti. 'Elektromanyetik indüksiyon' olarak adlandırdığı bu olayı, Faraday Yasası olarak bilinen ifadeyle formüllendirdi. Elektrik ve manyetik olayların birleşik kuramına yönelik arayışlar güç kazanmıştı. Elektrik motoru ufuktaydı. Kısa bir süre sonra ilk elektrik motoru yapıldı.

2.4.1. Üzerinden Akım Geçen Düz Telin, Halkanın ve Akım Makarasının Oluşturduğu Manyetik Alan

a. Üzerinden Akım Geçen Düz Telin Etrafında Oluşan Manyetik Alan

Bir maddenin etrafında manyetik alan oluşması, maddenin atomlarındaki elektronların hareketinden kaynaklanır. Bazı maddelerdeki elektronların manyetik alanları, birbirini güçlendirip madde etrafında manyetik alan oluşturur. Bu maddeler kalıcı mıknatıslık özelliği gösterir. Bazı maddelerde ise elektronların manyetik alanları birbirini zayıflatır veya yok eder. Bu durumda madde etrafında manyetik alan oluşmaz. Akım geçen bir telde hareket eden elektronlar da telin etrafında bir manyetik alan oluşturur.

Üzerine demir tozları serpilmiş saydam bir levhanın ortasından, üzerinden akım geçen bir tel geçirildiğinde demir tozlarının telin çevresinde Görsel 2.23'teki gibi halkalar oluşturduğu gözlemlenir.



Görsel 2.23 *Akım taşıyan telin etrafındaki demir tozlarının halkalar şeklinde dizilmesi, telin etrafında manyetik alan oluştuğunu gösterir.*

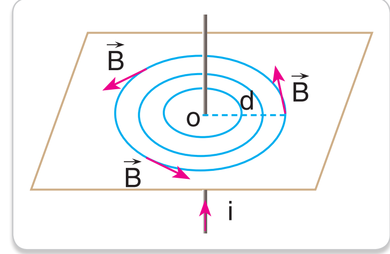
Şekil 2.32'deki doğrusal telin çevresinde oluşan manyetik alan çizgileri ve bazı noktalardaki manyetik alan vektörleri gösterilmiştir. Bir noktadaki manyetik alan vektörü, o noktadan geçen manyetik alan çizgisine teğet ve yarıçapa diktir.

Manyetik alan vektörel bir büyüklüktür ve yönü **sağ el kuralı** ile bulunur. Sağ elin baş parmağı, akımın yönünü gösterecek şekilde, tel avuç içine alındığında bükülen dört parmağın yönü manyetik alanın yönünü gösterir.

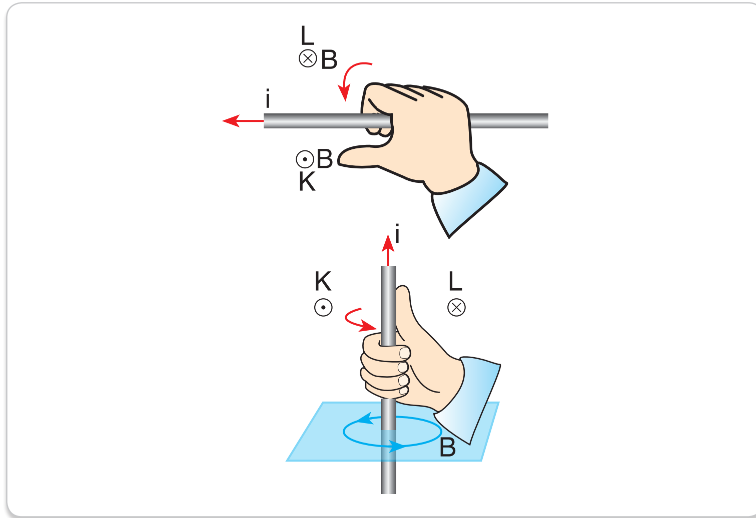
Manyetik alan vektörü ile akım birbirine dik düzlemlerde bulunur. Şekil 2.33'te üzerinden akım geçen tel sayfa düzleminde olduğunda, manyetik alan vektörü sayfa düzlemine dik olur.

Manyetik alan vektörü, sayfa düzlemine dik ve dışarı doğru ise ⊙ sembolü ile gösterilir. Sayfa düzlemine dik ve içeri yönde ise ⊗ sembolü ile gösterilir.

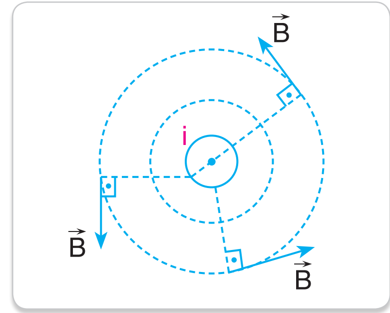
Şekil 2.33'teki gibi sayfa düzleminde, üzerinden akım geçen bir telin; bir tarafında manyetik alan vektörünün yönü sayfa düzleminden içe doğru (L), telin diğer tarafındaki manyetik alan vektörünün yönü sayfa düzleminden dışa doğrudur (K).



Şekil 2.32 *Doğrusal telin etrafında oluşan manyetik alan çizgileri ve manyetik alan vektörleri modelleme ile gösterilir.*

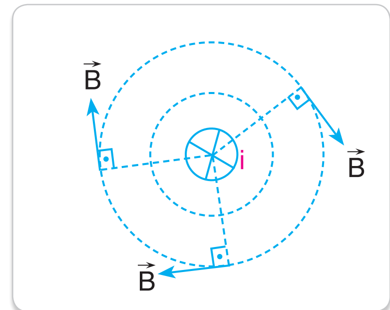


Şekil 2.33 *Üzerinden akım geçen telin etrafında oluşan manyetik alanın yönü, sağ el kuralı uygulanarak bulunur.*



Şekil 2.34 *Sağ el kuralı uygulanarak sayfa düzlemine dik ve üzerinden akım geçen telin etrafındaki manyetik alan vektörlerinin yönleri*

Sayfa düzlemine dik ve dışa doğru akım geçen bir telin etrafında oluşan manyetik alan vektörleri Şekil 2.34'te, sayfa düzlemine dik ve içe doğru akım geçen bir telin etrafında oluşan manyetik alan vektörleri ise Şekil 2.35'te gösterilmiştir.



Şekil 2.35 *Sağ el kuralı uygulanarak sayfa düzlemine dik ve akım geçen telin etrafındaki manyetik alan vektörlerinin yönleri*



Sıra Sizde 2. 9

Sayfa düzlemi üzerinde kaleminizi akım geçen tel olarak düşününüz. Buna göre

a) Kalem sayfa düzleminde ve akım sağa doğru iken

b) Kalem sayfa düzleminde ve akım sola doğru iken

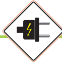
c) Kalem sayfa düzlemine dik ve akım sayfa düzleminden dışa doğru iken

ç) Kalem sayfa düzlemine dik ve akım sayfa düzleminden içe doğru iken telin etrafında oluşan manyetik alanın yönünü sağ el kuralını uygulayarak bulunuz.

Üzerinden akım geçen telin etrafında oluşan manyetik alanının yönünü bulmayı öğrendiniz. Fakat oluşan bu manyetik alanın şiddeti her noktada aynı mıdır? Eğer aynı değilse manyetik alan şiddetini etkileyen faktörler neler olabilir? Şimdi Etkinlik 2.1'i yaparak bu soruya cevap arayınız.



Etkinlik 2.1



Araç Gereçler

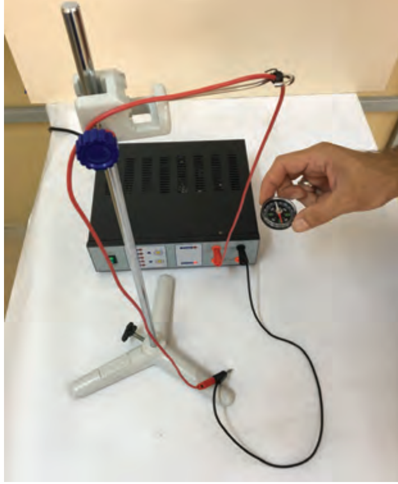
- Üçayak (1adet)
- Destek çubuğu (1 adet)
- İkili bağlama parçası (2 adet)
- Pusula (1 adet)
- Alçak gerilim güç kaynağı (0-12 V)
- Bağlantı kabloları
- Kurşun levha (5x10 cm)
- Alüminyum levha (5x10 cm)

Üzerinden Akım Geçen Düz Telin Etrafında Oluşan Manyetik Alan

Amacı: Üzerinden akım geçen, düz telin etrafında oluşturduğu manyetik alan şiddetini etkileyen değişkenleri analiz etmek ve yönünü görmek

Etkinliğin Basamakları

- Üçayak, destek çubuğu, ikili bağlama parçaları, bağlantı kabloları ve güç kaynağını kullanarak düz telin üzerinden akım geçmesini sağlayınız.
- Güç kaynağı kapalı iken pusulayı tele yakın bir konuma koyarak gösterdiği yönü belirleyiniz.
- Güç kaynağını açarak tele akım veriniz ve pusula ibresindeki değişimi gözlemleyiniz.



➤ Pusulayı, telden farklı uzaklıklardaki konumlara koyarak pusula ibresindeki değişimleri gözlemleyiniz.

➤ Pusulayı sabit tutarak akım şiddetini değiştiriniz ve pusula ibresindeki değişimi gözlemleyiniz.

➤ Üretecin kutuplarına bağlı kabloların yerini değiştirerek akımın yönünü değiştiriniz. Bu durumda pusula ibresinin sapma yönünü gözlemleyiniz.

➤ Pusula ve akımı sabit tutarak tel ile pusulanın arasına kurşun ve alüminyum levhalar koyduğunuzda, pusula ibresindeki değişimi gözlemleyiniz.

Sonuca Varalım

➤ Telden akım geçirildiğinde, pusula ibresinde bir değişiklik gözlemlediniz mi? Nedenini açıklayınız.

➤ Telden farklı uzaklıklarda iken pusula ibresindeki sapma miktarları farklı mıdır? Nedenini açıklayınız.

➤ Telden geçen akımın artıp azalması pusula ibresinin sapma miktarını etkiledi mi? Nedenini açıklayınız.

➤ Akımın yönü değiştiğinde pusula ibresinin gösterdiği yönde değişiklik oldu mu? Nedenini açıklayınız.

➤ Tel ile pusulanın arasına kurşun ve alüminyum levhalar koyduğunuzda pusula ibresinin sapma miktarı değişti mi? Nedenini açıklayınız.

Bir pusula, üzerinden akım geçen bir telin yakınına konulduğunda telin etrafında oluşan manyetik alan nedeni ile sapmaya uğrar. Pusula bu durumda hem Dünya'nın hem de telin manyetik alanı etkisindedir. Telin etrafında, Dünya'nın manyetik alanından

çok daha büyük bir manyetik alan oluşturulursa pusula yalnızca bu büyük manyetik alan etkisinde kalmış gibi düşünülebilir. Etkinliğimizde görüldüğü gibi telin etrafında oluşan manyetik alanın şiddeti, akım şiddeti artarken artmakta, uzaklık arttıkça ise azalmaktadır. Kurşun ve alüminyum levhaların konulması ile görülen değişiklikler ise manyetik alan şiddetinin, ortamın manyetik geçirgenliği ile de ilgili olduğunu gösterir.

Etkinlik 2.1'deki gibi üzerinden i akımı geçen doğrusal telden d kadar uzaklıktaki bir noktada oluşan manyetik alan şiddeti

$B = \frac{\mu_0 \cdot i}{2\pi \cdot d}$ bağıntısıyla bulunur.

Bu bağıntıdaki μ_0, serbest uzayın manyetik geçirgenlik katsayısıdır. 10. sınıfta bazı ortamların manyetik alan çizgilerini sıklaştırma ve seyrekleştirme özelliğinin, o maddenin manyetik geçirgenliği olarak tanımlandığını öğrenmiştiniz. Bir maddenin manyetik geçirgenliği μ ile, boşluğun manyetik geçirgenliği μ_0 ile gösterildiğinde bu maddenin bağıl geçirgenliği;

$\mu_b = \frac{\mu}{\mu_0}$ olarak ifade edilir.

Manyetik alan katsayısı olarak ifade edilen K değeri

$K = \frac{\mu_0}{4\pi}$ olarak yazılır. Buna göre $\mu_0 = 4\pi K$ olur. μ_0, manyetik alan şiddeti ifadesinde yerine yazılırsa $B = \frac{\mu_0 \cdot i}{2\pi \cdot d} = \frac{4\pi K i}{2\pi \cdot d} = K \cdot \frac{2i}{d}$ bulunur.

Manyetik alan şiddetinin birimi SI'da tesladır (T).

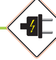
Birden fazla akımın bir noktada oluşturduğu manyetik alanların bileşkesi, o noktada her bir akımın oluşturduğu manyetik alan şiddetlerinin vektörel toplamı yapılarak bulunur.

b. Üzerinden Akım Geçen İletken Halkanın Merkezinde Oluşan Manyetik Alan

Üzerinden akım geçen doğrusal bir telin şeklinin değişmesi ile etrafında oluşan manyetik alan değişir mi? Örneğin doğrusal bir tel, halka biçimine getirildiğinde manyetik alanın yönü ve büyüklüğü bu değişiklikten nasıl etkilenir? Şimdi bu soruya cevap bulmak için Etkinlik 2.2'yi yapınız.



Etkinlik 2.2



Üzerinden Akım Geçen Halkanın Oluşturduğu Manyetik Alan

Amacı: Üzerinden akım geçen bir tel halkanın merkezindeki manyetik alan şiddetini etkileyen değişkenleri analiz etmek ve yönünü görmek

Araç Gereçler

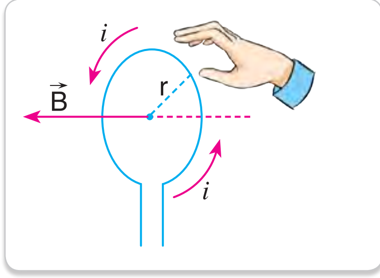
- İkili bağlama parçası (2 adet)
- Pusula (1 adet)
- Doğru akım güç kaynağı (0-12 V)
- Bağlantı kabloları
- Elektrik devre anahtarı
- İzole edilmiş iletken tel

Etkinliğin Basamakları

- İzole edilmiş iletken teli yuvarlayarak çapı 10 cm olan bir halka elde ediniz. Bağlantı kabloları ile iletken tel, anahtar ve güç kaynağından oluşan seri bağlı bir devre oluşturunuz.
- Halkayı doğu-batı doğrultusuna düşey olacak şekilde tutunuz.
- Pusulayı halkanın merkezine getirerek gösterdiği yönü belirleyiniz.
- Güç kaynağını açarak telden akım geçmesini sağlayınız. Bu sırada pusula ibresini gözlemleyiniz.
- Pusula aynı konumunda iken akımı artırıp pusula ibresini gözlemleyiniz.
- Akımı sabit tutarak halkanın merkezinden başlayarak pusulayı farklı noktalarda tutunuz ve pusula ibresini gözlemleyiniz.
- Üretecin kutuplarına bağlı kabloların yerini değiştirerek akımın yönünü değiştiriniz. Bu durumda pusula ibresinin sapma yönünü gözlemleyiniz.

Sonuca Varalım

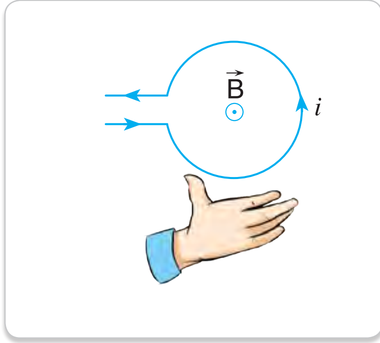
- Pusula halkanın merkezinde iken akımın artıp azalması pusula ibresinin sapma miktarını etkiledi mi? Nedenini açıklayınız.
- Pusula farklı noktalarda iken pusulanın ibresindeki sapma miktarı aynı mıdır? Neden?
- Pusulanın ibresindeki sapma en fazla hangi noktada olur? Açıklayınız.
- Akımın yönü değiştiğinde pusula ibresinin gösterdiği yönde değişiklik oldu mu? Nedenini açıklayınız.



Şekil 2.36 *Üzerinden akım geçen sayfa düzlemine dik halkanın merkezindeki manyetik alan sayfa düzlemindedir.*

Halka şeklinde bükülmüş bir telden akım geçtiğinde, halkanın çevresinde ve merkezinde manyetik alan oluşur. Halkanın her noktasındaki manyetik alan şiddeti farklı olduğu için bu konuda yalnızca halkanın merkezindeki manyetik alanla ilgili hesaplamalar yapılacaktır.

Şekil 2.36'daki tel halkanın merkezindeki manyetik alanın yönü sağ el kuralı ile bulunur. Sağ elin dört parmağı akım yönünü ve avuç içi halkanın merkezini gösterecek şekilde tutulduğunda dik olarak açılan başparmak, halka merkezinde oluşan manyetik alanın yönünü gösterir. Şekil 2.37'de, sayfa düzleminde olup üzerinden saat yönünün tersi yönünde akım geçen halkanın merkezindeki manyetik alanın yönünün, sağ el kuralıyla bulunması gösterilmiştir. Halkanın merkezinde sayfa düzlemine dik ve dışa doğru bir manyetik alan oluşturur (⊙).

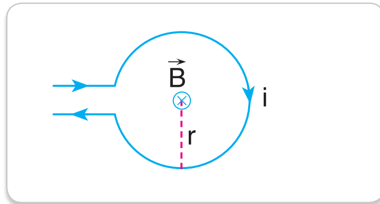


Şekil 2.37 *Üzerinden saat yönünün tersi yönde akım geçen halkanın merkezindeki manyetik alanın yönü sayfa düzleminden dışa doğrudur.*

Şekil 2.38'de aynı halkadan saat yönünde geçen akım, sayfa düzlemine dik ve içe doğru bir manyetik alan oluşturur (⊗).

Etkinlik 2.2'de üzerinden akım geçen bir halkanın manyetik alan şiddetinin, halkanın merkezinde en büyük değeri aldığını gözlemlediniz. Yarıçapı r kadar olan ve i akımı taşıyan bir halkanın merkezindeki manyetik alan şiddeti

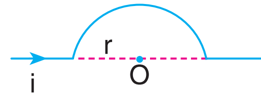
$B = K\frac{2\pi i}{r}$ bağıntısı ile bulunur.



Şekil 2.38 *Üzerinden i akımı geçen r yarıçaplı halkanın merkezinde oluşturduğu manyetik alan, düz telin oluşturduğundan farklıdır.*

Şekil 2.39'daki gibi yarım halka şeklindeki telden geçen akımın O noktasında oluşturduğu manyetik alanın şiddeti

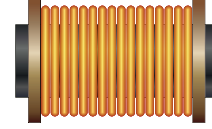
$B = \frac{1}{2}\left(K\frac{2\pi i}{r}\right)$ bağıntısı ile bulunur.



Şekil 2.39 *Üzerinden i akımı geçen r yarıçaplı yarım halkanın merkezinde oluşturduğu manyetik alanın şiddeti, tam halkanın oluşturduğu manyetik alan şiddetinin yarısı kadardır.*

c. Üzerinden Akım Geçen Akım Makarasının (Bobin) Merkez Ekseninde Oluşan Manyetik Alan

Akım makarası; etrafı izoleli, düz bir iletken telin Şekil 2.40'taki gibi heliks biçiminde sıkıca sarılması ile elde edilir. Akım makarası ve solenoid olarak da adlandırılır. Akım makarasının uzunluğu, çapından büyük olmalıdır. Şimdi bu akım makarasının merkez eksenindeki manyetik alanın yönüne ve büyüklüğüne etki eden değişkenleri bulmak için Etkinlik 2.3'ü yapınız.



Şekil 2.40 *Bir akım makarasında sarımlar heliks şeklindedir.*



Etkinlik 2.3

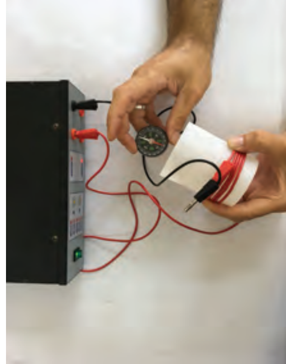
Üzerinden Akım Geçen Akım Makarasının İçinde Oluşan Manyetik Alan

Amacı: Üzerinden akım geçen akım makarasının manyetik alanının şiddetini etkileyen değişkenleri analiz etmek ve yönünü görmek

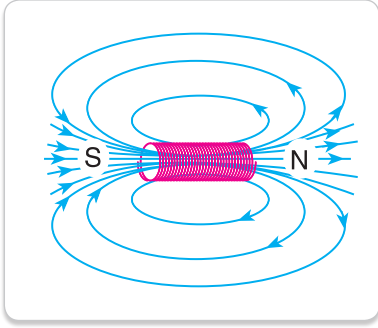
Araç Gereçler

- İkili bağlama parçası (2 adet)
- Pusula
- Doğru akım güç kaynağı (0-12 V)
- Bağlantı kabloları
- Elektrik devre anahtarı
- İzoleli iletken tel
- Yarıçapı 3-4 cm, uzunluğu 15 cm olan plastik boru parçası

Etkinliğin Basamakları



- İzoleli iletken teli plastik boru üzerinde sararak bir akım makarası elde ediniz. Bağlantı kabloları ile iletken tel, anahtar ve güç kaynağından oluşan seri bağlı bir devre oluşturunuz.
- Akım makarasını, halkaları doğu-batı doğrultusunda olacak düşey biçimde tutunuz.
- Pusulayı akım makarasının merkez ekseni üzerinde olacak biçimde tutunuz ve pusula ibresinin gösterdiği yöne dikkat ediniz.
- Güç kaynağını açarak devreden akım geçmesini sağlayınız. Pusula ibresini gözlemleyiniz.
- Pusula, akım makarasının merkez ekseni üzerinde iken akımı artırınız ve pusula ibresini gözlemleyiniz.
- Akımı sabit tutarak ve akım makarasının merkez ekseninden başlayarak pusulayı farklı noktalarda tutunuz ve pusula ibresini gözlemleyiniz.



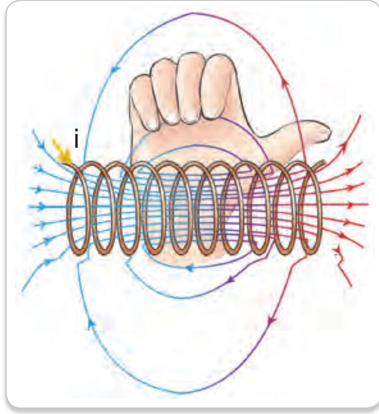
Şekil 2.41 Akım taşıyan akım makarasının manyetik alan çizgileri çubuk mıknatısın manyetik alan çizgilerine benzer.

➤ Üretecin kutuplarına bağlı kabloların yerini değiştirerek akımın yönünü değiştiriniz. Bu durumda pusula ibresinin sapma yönünü gözlemleyiniz.

Sonuca Varalım

➤ Pusula akım makarasının merkez ekseni üzerinde iken akımın artıp azalması pusula ibresinin sapma miktarını etkiledi mi? Nedenini açıklayınız.

➤ Akım makarasının içinde farklı noktalarda pusula ibresinin sapma miktarı aynı mıdır? Nedenini açıklayınız.



Şekil 2.42 Üzerinden akım geçen bir akım makarasının merkezindeki manyetik alanın yönü sağ el kuralı uygulanarak bulunur.

Bir akım makarası üzerinden akım geçirildiğinde her bir halka parçası etrafında manyetik alan oluşturur. Akım makarası üzerinden akım geçirildiğinde makaranın içinde ve çevresinde manyetik alan oluştuğunu Etkinlik 2.3'te pusula ibresinin sapmasından gözlemlediniz.

Akım makarasının oluşturacağı manyetik alan, her halka parçasının oluşturacağı manyetik alanların vektörel toplamıdır. Bu şekilde bulunan manyetik alan, akım makarasının merkez ekseninde düzgün ve doğrusaldır. Manyetik alan çizgileri, Şekil 2.41'deki biçimde bir çubuk mıknatısın N ve S kutupları gibidir.

Üzerinden akım geçen bir akım makarasının merkezindeki manyetik alanın yönü sağ el kuralı uygulanarak bulunur. Sağ el kuralına göre parmaklar akım yönünde olacak şekilde akım makarası avuç içine alınır. Şekil 2.42'deki gibi diğer dört parmağa dik olarak açılan başparmak akım makarası içindeki manyetik alanın yönünü gösterir. Bu yönün akım makarasının içindeki manyetik alanın yönü olduğuna dikkat ediniz.



Okuma Parçası

ELEKTROMIKNATIS



Görsel 2.24 Hurdalıkta kullanılan vinçler, akım makarasının mıknatıs özelliğinden faydalanılarak yapılır.

Bir çiviye bakır bir tel sardığınızı düşünün. Böylece bir "bobin" oluşur. Elektrik akımı verildiğinde bu bobin mıknatıs özelliği kazanır ve bir elektromıknatıs ortaya çıkar. Elektrik akımı olmadığındaysa bobin mıknatıs özelliğini kaybeder. Elektromıknatısların da kuzey ve güney kutupları vardır. Üstelik elektrik akımının yönü değiştirilerek elektromıknatısın kutupları da değiştirilebilir.

Akım makarasının bu özelliğinden yararlanılarak elektromıknatıslı vinçler yapılmıştır (Görsel 2.24).

Üzerinden akım geçen bir akım makarasının ekseni üzerindeki manyetik alan şiddeti,

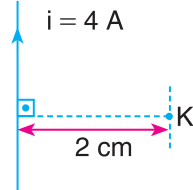
N, sarım sayısı ve ℓ, akım makarasının uzunluğu olmak üzere $B = \frac{\mu_0 \cdot N \cdot i}{\ell}$ bağıntısıyla hesaplanır. $K = \frac{\mu_0}{4\pi}$ yazılırsa $B = \frac{4\pi \cdot K \cdot N \cdot i}{\ell}$ yazılabilir.

2.4.2. Üzerinden Akım Geçen Düz Telin Çevresinde, Halkanın Merkezinde ve Akım Makarasının Merkez Ekseninde Oluşan Manyetik Alanla İlgili Hesaplamalar

ÖRNEK 17

Sayfa düzlemindeki doğrusal telden 4 A şiddetinde akım şekildeki yönde geçmektedir. Telden 2 cm uzaklıkta bulunan K noktasındaki manyetik alan şiddetini ve yönünü bulunuz.

$(K = 10^{-7}\,N/A^2)$



ÇÖZÜM

Manyetik alan şiddeti hesaplanacak noktanın uzaklığı

$2\,cm = 2 \cdot 10^{-2}$ m'dir.

Öncelikle manyetik alanın yönünü sağ el kuralı ile bulalım. K noktasındaki manyetik alan vektörü sayfa düzlemine dik ve içe doğrudur. (⊗)

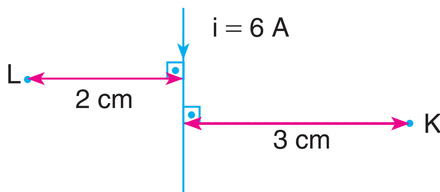
Şimdi de bu manyetik alanın şiddetini bulalım.

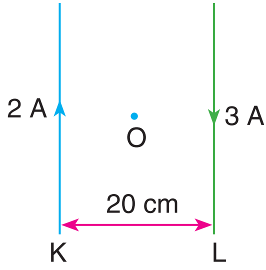
$B = K\frac{2i}{d} = 10^{-7}\frac{2 \cdot 4}{2 \cdot 10^{-2}}$ ve $B = 4 \cdot 10^{-5}$ T bulunur.



Sıra Sizde 2.10

Sayfa düzlemindeki doğrusal telden 6 A şiddetinde akım şekildeki yönde geçmektedir. Telden 3 cm ve 2 cm uzaklıkta bulunan K ve L noktalarındaki manyetik alan şiddetini ve yönünü bulunuz. $(K = 10^{-7}\,N/A^2)$

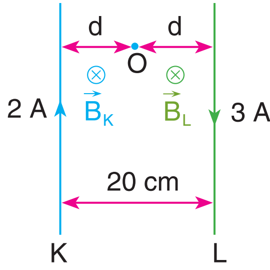




ÖRNEK 18

Şekildeki gibi aralarında 20 cm uzaklık bulunan K ve L tellerinden zıt yönlerde 2 A'lik ve 3 A'lik akımlar geçmektedir. Buna göre tellere eşit uzaklıkta bulunan O noktasındaki bileşke manyetik alan şiddetini ve yönünü bulunuz. $(K = 10^{-7}\ N/A^2)$

ÇÖZÜM



Sağ el kuralını uygulayarak her bir telin O noktasında oluşturduğu manyetik alanların yönlerini bulalım.

Hem K hem de L telinin etrafında oluşan manyetik alanın yönü şekildeki gibi sayfa düzleminden içe doğrudur. K ve L tellerinden geçen akımların O noktasında oluşturduğu manyetik alan şiddetlerini ayrı ayrı hesaplarsak

d = 10 cm = 0,1 m

$$B_K = K\frac{2i}{d} = 10^{-7}\frac{2 \cdot 2}{0,1} \text{ ve } B_K = 4 \cdot 10^{-6}\,T$$

$$B_L = K\frac{2i}{d} = 10^{-7}\frac{2 \cdot 3}{0,1} \text{ ve } B_L = 6 \cdot 10^{-6}\,T \text{ bulunur.}$$

O noktasındaki bileşke manyetik alan her iki telin oluşturduğu manyetik alanlar aynı yönlü olduğundan

$B = B_K + B_L = 4 \cdot 10^{-6} + 6 \cdot 10^{-6} = 10^{-5}\,T$ bulunur. Yönü ise sayfa düzleminden içe (⊗) doğrudur.



Sıra Sizde 2.11

Örnek 18'deki L telindeki akımın ters yönde olması durumunda, O noktasında oluşan bileşke manyetik alan şiddetini ve yönünü bulunuz.

ÖRNEK 19

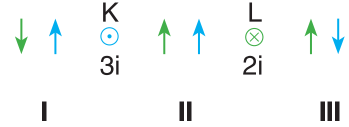
Şekilde üzerinden 3i ve 2i akımları geçen iletken teller sayfa düzlemine diktir. Teller arasındaki uzaklık 2d ise manyetik alanın sıfır olduğu yeri bulunuz.



ÇÖZÜM

K telinin sol tarafını I. bölge, tellerin arasını II. bölge ve L telinin sağ tarafını III. bölge olarak adlandıralım. Daha sonra bu bölgelerde K ve L tellerinin oluşturduğu manyetik alanların yönlerini belirleyelim.

I, II ve III bölgelerinde K ve L tellerinin manyetik alanların yönleri şekildeki gibi olur. Bu yönleri dikkate alarak bileşke manyetik alanın sıfır olabileceği bölge veya bölgeleri tespit etmeye çalışalım. Bileşke manyetik alanın sıfır olabilmesi için K ve L tellerinin eşit ve zıt büyüklükte manyetik alanlar oluşturması gerekir.



II. bölgede manyetik alanlar aynı yönlüdür. Bu yüzden II. bölgede bileşke sıfır olamaz. I ve III. bölgelerde ise zıt yönlü oldukları için ilk başta bu bölgelerde sıfır olabileceği düşünülebilir. Fakat manyetik alan şiddeti uzaklıkla ters orantılı olduğundan bileşkenin sıfır olduğu nokta, az akım geçen tele yakın olmalıdır. Bu nedenle I. bölgede de bileşke sıfır olamaz. O hâlde bileşkenin sıfır olduğu nokta III. bölgededir.

Bu nokta şekildeki gibi A noktası olarak gösterilirse, A noktasındaki manyetik alanların büyüklükleri,



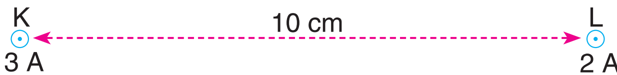
$B_K = B_L$

$K\dfrac{2 \cdot 3i}{2d + x} = K\dfrac{2 \cdot 2i}{x}$

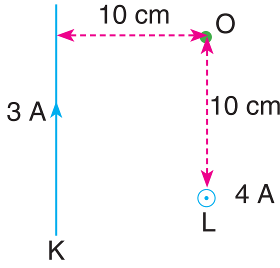
$\dfrac{3}{2d + x} = \dfrac{2}{x}$

$x = 4d$ bulunur.

Sıra Sizde 2.12

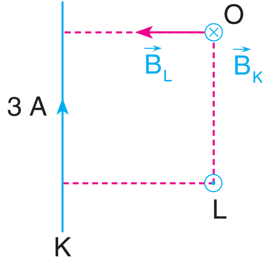


Şekilde üzerinden 3 A'lik ve 2 A'lik akım geçen K ve L iletken telleri sayfa düzlemine diktir. Teller arasındaki uzaklık 10 cm olduğuna göre bileşke manyetik alanın sıfır olduğu noktanın yerini bulunuz.



ÖRNEK 20

Sayfa düzlemindeki K telinden 3 A, sayfa düzlemine dik olan L telinden ise 4 A'lik akım geçmektedir. Tellere 10 cm uzaklıkta bulunan O noktasındaki bileşke manyetik alan kaç tesla olur? $(K = 10^{-7}\,N/A^2)$



ÇÖZÜM

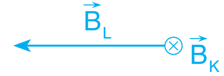
Manyetik alan vektörel bir büyüklük olduğu için K ve L tellerinin O noktasında oluşturdukları manyetik alanların hem büyüklüklerini hem de yönlerini bulalım.

K telinin O noktasında oluşturduğu manyetik alan yönü sayfa düzlemine dik ve içe doğrudur (⊗). Bu manyetik alanın şiddeti,

$$B_K = K\frac{2i}{d} = 10^{-7}\cdot\frac{2.3}{0,1} = 6\cdot10^{-6}\,T \text{ olur.}$$

L telinin O noktasındaki manyetik alan yönü şekilde gösterildiği gibi sola doğrudur (←). Bu manyetik alanın şiddeti ise

$$B_L = K\frac{2i}{d} = 10^{-7}.\frac{2\cdot4}{0,1} = 8\cdot10^{-6}\,T \text{ olur.}$$



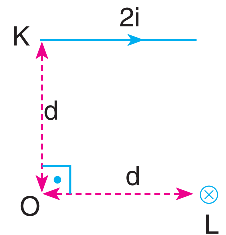
$\vec{B}_K$ ve $\vec{B}_L$ birbirine dik doğrultuda olduğundan bileşke manyetik alan,

$$B^2 = B_K^2 + B_L^2$$

$$B = (6\cdot10^{-6})^2 + (8\cdot10^{-6})^2 \quad \text{ve } B = 10^{-5}\,T \text{ bulunur.}$$



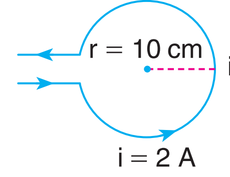
Sıra Sizde 2.13



Sayfa düzlemindeki K telinden 2i, sayfa düzlemine dik olan L telinden ise i akımı geçmektedir. L telinin O noktasında oluşturduğu manyetik alan şiddeti B olduğuna göre O noktasındaki bileşke manyetik alan kaç B olur?

ÖRNEK 21

Şekildeki gibi yarıçapı 10 cm olan tel halkanın üzerinden 2 A'lik akım geçmektedir. Halkanın merkezindeki manyetik alanın şiddetini ve yönünü bulunuz. $(K = 10^{-7}\ N/A^2, \pi = 3$ alınız.$)$



ÇÖZÜM

r = 10 cm= 0,1 m'dir.

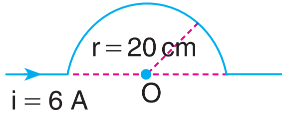
Halkanın merkezindeki manyetik alan şiddeti

$$B = K\frac{2\pi i}{d} = 10^{-7}\frac{2 \cdot 3 \cdot 2}{0,1} = 1,2 \cdot 10^{-5}\ T \text{ bulunur.}$$

Halkanın merkezinde oluşan manyetik alanın yönü (sağ el kuralı kullanılarak) sayfa düzlemine dik ve dışa doğrudur (⊙).

Sıra Sizde 2.14

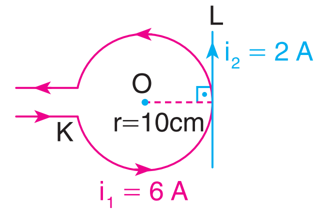
Sayfa düzleminde bulunan ve üzerinden 6 A'lik akım geçen şekildeki 20 cm yarıçaplı yarım halkanın merkezindeki O noktasında oluşan manyetik alanın şiddetini bulup yönünü gösteriniz. $(K = 10^{-7}\ N/A^2, \pi = 3$ alınız.$)$



ÖRNEK 22

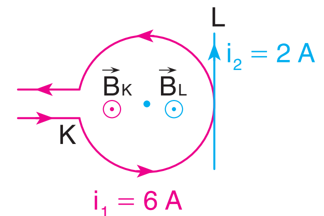
Üzerinden 6 A akım geçen 10 cm yarıçaplı K halkası ile üzerinden 2 A akım geçen L doğrusal teli sayfa düzleminde şekildeki gibi yerleştirilmiştir. Buna göre halkanın merkezinde oluşan bileşke manyetik alan hangi yönde ve büyüklüğü kaç tesladır?

$(K = 10^{-7}\ N/A^2, \pi = 3$ alınız.$)$



ÇÖZÜM

Sağ el kuralına göre K halkasının merkezde oluşturduğu manyetik alanın yönü dışa doğrudur ($\vec{B}_K$, ⊙). Aynı şekilde L telinin halkanın merkezinde oluşturduğu manyetik alanın yönü de dışa doğru bulunur ($\vec{B}_L$, ⊙).



Şekilde halkanın ve telin merkezde oluşturdukları manyetik alan yönleri gösterilmiştir. B_K ve B_L manyetik alan şiddetleri;

$$B_L = K\frac{2 \cdot i_2}{r} \qquad B_K = K\frac{2\pi \cdot i_2}{d}$$

$$B_L = 10^{-7}\frac{2 \cdot 2}{0,1} \qquad B_K = 10^{-7}\frac{2 \cdot 3 \cdot 6}{0,1}$$

$B_L = 4 \cdot 10^{-6}$ T dır. $\qquad B_K = 36 \cdot 10^{-6}$ T dır.

K halkasının ve L telinin, halkanın merkezinde oluşturdukları manyetik alanların yönleri aynıdır. Buna göre bileşke manyetik alan,

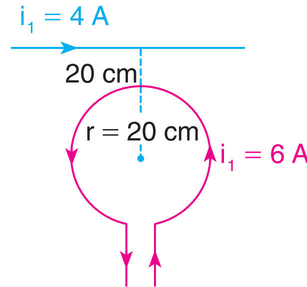
$$B = B_K + B_L \qquad B = 36 \cdot 10^{-6} + 4 \cdot 10^{-6}$$

$B = 40 \cdot 10^{-6}$ T $\qquad B = 4 \cdot 10^{-5}$ T bulunur.

Bileşke manyetik alanın yönü dışa doğrudur (⊙).

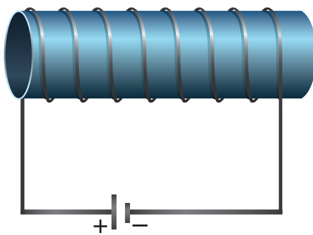


Sıra Sizde 2.15



Üzerinden 4 A akım geçen doğrusal tel ile üzerinden 6 A akım geçen 20 cm yarıçaplı halka sayfa düzleminde şekildeki gibi yerleştirilmiştir. Buna göre halkanın merkezinde oluşan bileşke manyetik alan hangi yönde ve büyüklüğü kaç T'dır? $(K = 10^{-7}\ N/A^2, \pi = 3$ alınız.$)$

ÖRNEK 23

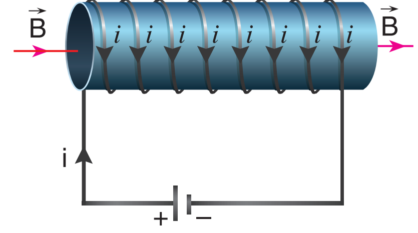


Uzunluğu 10 cm olan akım makarasında 100 sarım bulunmaktadır. Akım makarası bir üretece şekildeki gibi bağlandığında üzerinden 2 A akım geçtiğine göre merkezinde oluşan manyetik alanın yönünü ve şiddetini bulunuz.

$(K = 10^{-7}\ N/A^2, \pi = 3$ alınız.$)$

ÇÖZÜM

Bağıntıdaki birimler MKS birim sisteminde yazılacak olursa $\ell = 10$ cm $= 0,1$ m bulunur. N = 100 ve i = 2 A değerleri alınarak akım makarasının merkezinde oluşan manyetik alan şiddeti,



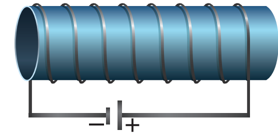
$$B = \frac{4\pi \cdot K \cdot N \cdot i}{\ell} = \frac{4 \cdot 3 \cdot 10^{-7} \cdot 100 \cdot 2}{0,1} = 2,4 \cdot 10^{-3} \text{ T bulunur.}$$

Üretecin oluşturduğu akımın yönüne dikkat ederek sağ el kuralı uygulandığında oluşan manyetik alanın yönünün şekildeki gibi sağa doğru olduğu bulunur.



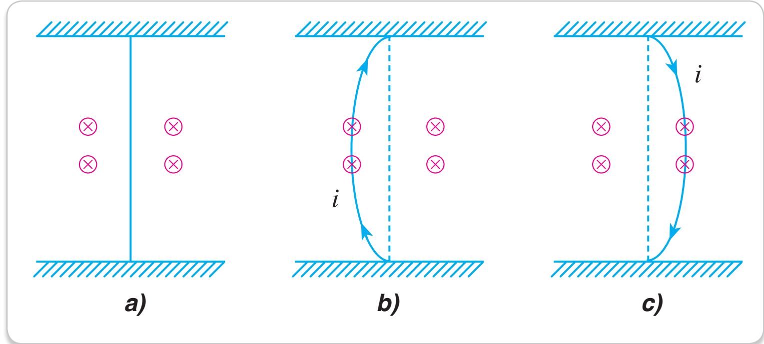
Sıra Sizde 2.16

500 sarımlı ve 20 cm uzunluğundaki akım makarası bir üretece üzerinden 1 A akım geçecek biçimde şekildeki gibi bağlanıyor. Buna göre merkezinde oluşan manyetik alanın yönünü ve şiddetini bulunuz. ($K = 10^{-7}$ N/A^2, $\pi = 3$ alınız.)

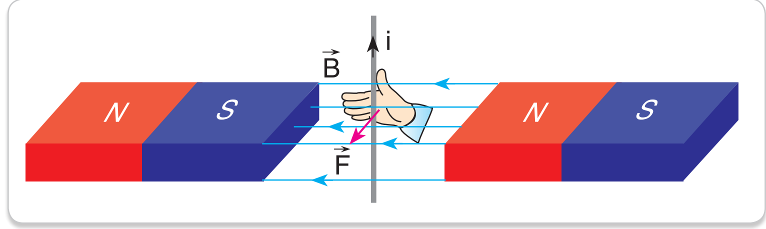


2.4.3. Üzerinden Akım Geçen Düz Tele Manyetik Alanda Etki Eden Kuvvet

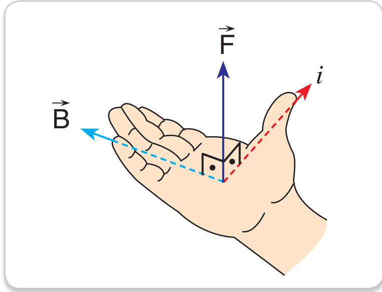
Mıknatısın kutuplarından birine yakın biçimde konumlandırılan, iki ucundan Şekil 2.43.a'daki gibi sabitlenmiş akım taşımayan esnek ve iletken bir tel görüldüğü gibi düzdür. Manyetik alan sayfa düzlemine dik ve içe doğrudur. Telden yukarı doğru akım geçirildiğinde, Şekil 2.43.b'de görüldüğü gibi tel sola doğru esner. Telden geçen akım aşağı yönde olduğunda ise Şekil 2.43.c'deki gibi tel sağa doğru esner. Bu olay bize manyetik alan içinde kalan ve üzerinden akım geçen bir telin üzerine kuvvet uygulandığını gösterir. Bir manyetik alan içerisinde, akım taşıyan tele etki eden bu kuvvete "**manyetik kuvvet**" denir.



Şekil 2.43 *Bir mıknatısın kutupları arasına dikey olarak sabitlenmiş esnek iletken tel* ***a)*** *Telden akım geçmediğinde tel düzdür.* ***b)*** *Akım yukarı doğru olduğunda, tel sola doğru esner.* ***c)*** *Akım aşağı yönde olduğunda, tel sağa doğru esner.*



Şekil 2.44 Üzerinden akım geçen bir tele manyetik alanda etki eden kuvvetin yönü sağ el kuralı uygulanarak bulunur.



Şekil 2.45 Akım ve manyetik alan birbirine dik iken manyetik kuvvet hem akıma hem de manyetik alana diktir.

Manyetik kuvvetin yönü sağ el kuralıyla bulunur. Şekil 2.44'teki gibi bir manyetik alan içindeki tele etki eden kuvvetin yönünü bulmak için sağ elin dört parmağı manyetik alanı, başparmak da akım yönünü gösterecek şekilde birbirine dik olarak açılır. Tele etki eden manyetik kuvvet avuç içinin baktığı yönde olur. Manyetik kuvvet Şekil 2.45'te görüldüğü gibi hem manyetik alana ve hem de akıma diktir.

Akımın ve manyetik alanın birbirine dik olması hâlinde, oluşan manyetik kuvvetin büyüklüğü $F = B \cdot i \cdot \ell$ ile bulunur. Bu bağıntıda;

F; manyetik kuvvetin büyüklüğü,

B; manyetik alanın şiddeti,

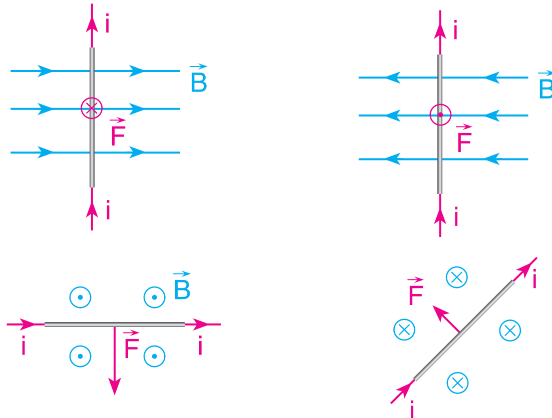
i; telin üzerinden geçen akım şiddeti,

ℓ; telin manyetik alan içinde kalan bölümünün uzunluğudur.



Sıra Sizde 2.17

Şekilde yönleri gösterilen manyetik kuvvetlerin yönlerini sağ el kuralını uygulayarak siz de doğrulayınız.

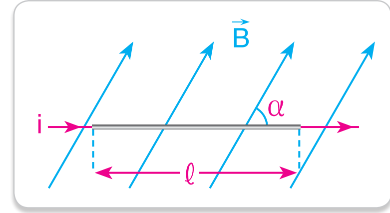


Üzerinden i akımı geçen ℓ uzunluğundaki tel B manyetik alanı içindedir. Akımın doğrultusu ile manyetik alanın doğrultusu her zaman birbirine dik olmayabilir. Şekil 2.46'daki gibi telin manyetik alan ile yaptığı açı α ise tele etki eden manyetik kuvvetin şiddeti

$F = B \cdot i \cdot \ell \cdot \sin\alpha$ bağıntısıyla bulunur. Bu bağıntıda α, akımın doğrultusu ile manyetik alanın doğrultusu arasındaki açıdır.

$\alpha = 90^\circ$ iken $\sin 90^\circ = 1$ olacağından manyetik kuvvet en büyük değerini alır. $\alpha = 0^\circ$ iken $\sin 0^\circ = 0$ olacağından manyetik kuvvet sıfır değerini alır. Bu durumda akım ve manyetik alanın aynı doğrultuda olması hâlinde tele bir manyetik kuvvet etki etmeyeceği çıkarımı yapılabilir.

Üzerinden akım geçen bir tel, etrafında manyetik alan oluşturduğuna göre bu manyetik alan içine üzerinden akım geçen başka bir tel konulduğunda bu tele bir manyetik kuvvetin etki etmesi beklenir. Şimdi bu kuvveti ve bu kuvvetin bağlı olduğu değişkenleri bulmak için Etkinlik 2.4'ü yapınız.



Şekil 2.46 *B manyetik alanı içinde üzerinden i akımı geçen ℓ, uzunluğundaki tele etki eden kuvvetin büyüklüğü, akım ve manyetik alan arasındaki açıya bağlıdır.*



Etkinlik 2.4

Üzerinden Akım Geçen Tellerin Birbirine Uyguladığı Manyetik Kuvvet

Amacı: Üzerinden akım geçen tellerin birbirine uyguladığı manyetik kuvvetin bağlı olduğu değişkenleri analiz etmek

Etkinliğin Basamakları

- Üçayakların üzerine destek çubuklarını görseldeki gibi dikey olarak bağladıktan sonra ikili bağlama parçalarını da destek çubuğuna bağlayınız.
- İletken telleri ikili bağlama parçalarına tutturunuz. İletken tellerin açık uçlarının diğer parçalara değmemesine özen gösteriniz.



- Her iki teli de ayrı ayrı güç kaynağına seri bağlayarak şekildeki gibi iki elektrik devresi oluşturunuz.

Araç Gereçler

- İkili bağlama parçası (2 adet)
- Destek çubuğu (2 adet)
- Üçayak (2 adet)
- Doğru akım güç kaynağı (0-12 V, 2 adet)
- Bağlantı kabloları
- Farklı renklerde izole edilmiş iletken tel

➤ Devrelere, tellerde aynı yönlü olacak biçimde akım veriniz. Tellerin birbirine paralel olduğu bölümü gözlemleyiniz.

➤ Akım şiddetini sabit tutarak telleri birbirinden biraz uzaklaştırınız ve düzeneği gözlemleyiniz.

➤ Aralarındaki uzaklık sabit tutulurken akım şiddetini artırınız ve düzeneği gözlemleyiniz.

➤ Tellerden birinden geçen akım yönünü değiştirerek tellerden zıt yönde akım geçmesini sağlayınız ve düzeneği gözlemleyiniz.

Sonuca Varalım

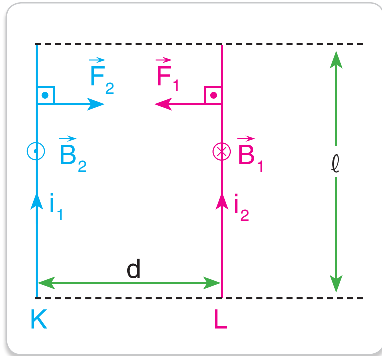
1. Tellerden akım geçirildiğinde, tellerde bir hareket gözlemlediniz mi? Nedenini açıklayınız.

2. Tellerin arasındaki mesafe artırıldığında, tellerin hareketinde değişiklik gözlemlediniz mi? Nedenini açıklayınız.

3. Akım şiddetinin artırılması tellerin durumlarında bir değişikliğe sebep oldu mu? Nedenini açıklayınız.

4. Tellerden zıt yönde akım geçirilmesi sağlandığında tellerin hareketi nasıl olmuştur? Nedenini açıklayınız.

5. Tellerin arasındaki mesafenin ve akım şiddetinin artırılması tellerin hareketini nasıl etkilemiştir? Sizce tellerden aynı yönde akım geçtiği ilk durumla benzer şekilde mi etkilemiştir? Nedenini açıklayınız.



Şekil 2.47 *Aynı yönlü akım taşıyan paralel iki tele etki eden manyetik kuvvetler tellerin birbirini çekmesini sağlar.*

Elektrik akımı taşıyan iki tel birbirinin yakınına konulduğunda, her ikisi de diğer telin bulunduğu bölgede bir manyetik alan oluşturur. Bu da tellerin üzerinde manyetik kuvvet oluşmasını sağlar ve iki tel birbirine kuvvet uygular. Etkinlik 2.4'teki gibi tellerden aynı yönde akım geçirildiğinde teller birbirini çekerken zıt yönde akım geçirildiğinde ise birbirini iter.

Şekil 2.47'de paralel tellerden aynı yönlü akım geçtiğinde tellere uygulanan manyetik kuvvetler gösterilmiştir. Sağ el kuralına göre i_1 akımı L telinin bulunduğu yerde sayfa düzlemine dik ve içeri doğru $\vec{B}_1$ manyetik alanını oluşturur. Bu durumda L teline etki eden kuvvet $\vec{F}_1$ olur.

L telinden geçen i_2 akımı K telinin bulunduğu yerde sayfa düzlemine dik ve dışa doğru $\vec{B}_2$ manyetik alanını oluşturur. Bu durumda K teline etki eden kuvvet $\vec{F}_2$ olur.

$B_1 = K\dfrac{2i_1}{d}$ ve $F_1 = B_1 \cdot i_1 \cdot \ell$ bağlantılarıyla hesaplanır. B_1 değeri diğer bağıntıda yerine yazılırsa

$F_1 = K\dfrac{2 \cdot i_1 \cdot i_2}{d} \cdot \ell$ olur.

$B_2 = K\dfrac{2i_2}{d}$ ve $F_2 = B_2 \cdot i_1 \cdot \ell$ bağlantılarıyla hesaplanır. B_2 değeri diğer bağıntıda yerine yazılırsa

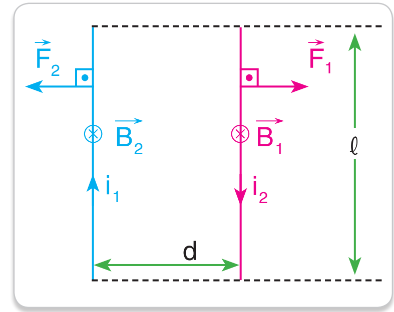
$F_2 = K\dfrac{2 \cdot i_1 \cdot i_2}{d} \cdot \ell$ olur.

Buna göre $\vec{F}_1$ ve $\vec{F}_2$ nin şiddetleri eşit ve yönleri zıttır.

Tellerden zıt yönde akım geçirildiğinde, tellere etki eden $\vec{F}_1$ ve $\vec{F}_2$ manyetik kuvvetlerinin yönleri ve şiddetleri benzer şekilde bulunur. Bu durumda $\vec{F}_1$ ve $\vec{F}_2$ kuvvetlerinin yönleri Şekil 2.48'deki gibi olduğundan teller birbirini iter. Etkinlik 2.4'te akımlar zıt yönlü olduğunda tellerin birbirini ittiğini gözlemlemiştiniz. Bunun yanı sıra tellerin arasındaki mesafenin ve akım şiddetinin değiştirilmesinin de tellere uygulanan manyetik kuvvet büyüklüğünü etkilediğini gözlemlemiştiniz.

i_1 ve i_2 akımları taşıyan ℓ uzunluğundaki paralel iki iletken telden her birine etki eden manyetik kuvvetin büyüklüğü,

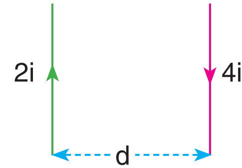
$F = K\dfrac{2i_1 \cdot i_2}{d} \cdot \ell$ bağıntısı ile bulunur.



Şekil 2.48 *Zıt yönlü akım taşıyan paralel iki tele etki eden manyetik kuvvetler tellerin birbirini itmesini sağlar.*

ÖRNEK 24

Aralarında d kadar uzaklık bulunan paralel iki telden şekilde belirtilen yönlerde 2i ve 4i büyüklüğünde akımlar geçmektedir. Tellerin ℓ uzunluğundaki parçasına $\vec{F}$ manyetik kuvveti etki etmektedir.



Tellerden geçen akım şiddetleri ve aralarındaki uzaklık 2 katına çıkarılırsa tellerin ℓ uzunluğuna etki eden kuvvet (F'), kaç F olur?

ÇÖZÜM

İlk durumda $\vec{F}$ kuvvetinin büyüklüğü

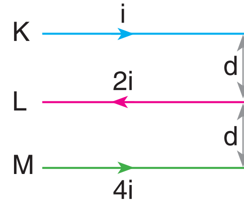
$F = \dfrac{k \cdot i_1 \cdot i_2}{d}\ell = k \cdot \dfrac{2_i \cdot 4_i}{d} \cdot \ell = 8 \cdot \dfrac{k \cdot i^2}{d} \cdot \ell$ olur.

Son durumda;

$F' = \dfrac{k \cdot i'_1 \cdot i'_2}{d'}\ell = k \cdot \dfrac{4_i \cdot 8_i}{2d} \cdot \ell = 16 \cdot \dfrac{k \cdot i^2}{d} \cdot \ell$ olduğundan

$F' = 2F$ olur.

ÖRNEK 25



Şekildeki eşit uzunlukta ve birbirine paralel olan K, L ve M tellerinden gösterilen yönlerde i, 2i ve 4i akımları geçmektedir. K telinin M teline uyguladığı kuvvetin büyüklüğü F olduğuna göre, L teline etki eden bileşke manyetik kuvvet hangi yönde ve kaç F olur?

ÇÖZÜM

K telinin M teline uyguladığı kuvvetin büyüklüğü,

$$F_{KM} = K \cdot \frac{2 \cdot i \cdot 4i}{2d} \cdot \ell$$

$$F_{KM} = K \cdot \frac{4i^2}{d} \cdot \ell = F \text{ olur.}$$

L teline etki eden bileşke manyetik kuvvetin bulunması için, K'nın L'ye uyguladığı $\vec{F}_{KL}$ ve M'nin L'ye uyguladığı $\vec{F}_{ML}$ manyetik kuvvetlerinin büyüklüklerini ve yönlerini belirlememiz gerekir.

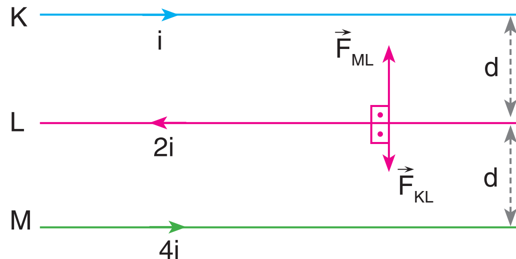
Bu kuvvetlerin büyüklükleri,

$$F_{KL} = K \frac{2 \cdot i \cdot 2i}{d} \cdot \ell$$

$$F_{KL} = K \cdot \frac{4i^2}{d} \cdot \ell = F \text{ olur.}$$

$$F_{ML} = K \frac{2 \cdot 2i \cdot 4i}{d} \cdot \ell$$

$$F_{ML} = K \cdot \frac{16i^2}{d} \cdot \ell = 4F \text{ olur.}$$



K ve M tellerinden geçen akımlar, L telinden geçen akıma zıt yönlü olduğundan L telini iter. K ve M tellerinin L teline uyguladığı manyetik kuvvetlerin yönleri şekildeki gibidir.

L teline etki eden bileşke manyetik kuvvet,

$\vec{F}_{bileşke} = \vec{F}_{KL} + \vec{F}_{ML}$

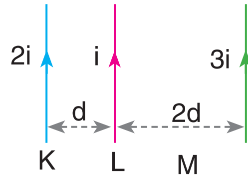
$F_{bileşke} = 4F - F = 3F$ olur.

L teline etki eden bileşke manyetik kuvvet $\vec{F}_{ML}$ yönünde 3F kadardır.



Sıra Sizde 2.18

Şekildeki eşit uzunlukta ve birbirine paralel olan K, L ve M tellerinden gösterilen yönlerde 2i, i ve 3i akımları geçmektedir. K telinin L teline uyguladığı kuvvet $2\vec{F}$ olduğuna göre, M teline etki eden bileşke manyetik kuvvet kaç $\vec{F}$ olur?

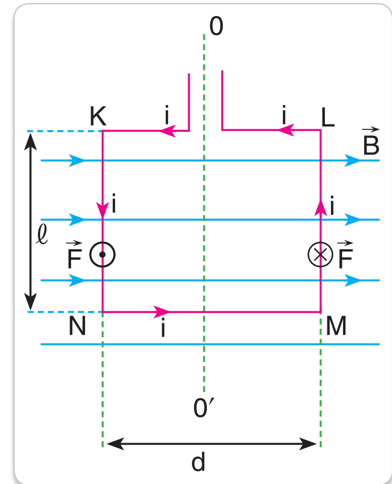


2.4.4. Manyetik Alan İçerisinde Akım Taşıyan Tel Çerçevenin Hareketi

Şekil 2.49'daki gibi kenar uzunlukları ℓ ve d olan, OO' ekseni etrafında serbestçe dönebilen dikdörtgen şeklindeki, KLMN tel çerçevesini ele alalım. Düzgün bir manyetik alana konulan bu çerçeveden şekildeki yönde bir akım geçirildiğinde oluşan etkiyi inceleyelim.

Tel çerçevenin KL ve MN kenarları manyetik alana paralel olduğu için bu kenarlara manyetik kuvvet etki etmez. Çerçevenin KN ve LM kenarları manyetik alana dik olduğundan bu kenarlara manyetik kuvvet etki eder.

Sağ el kuralına göre KN kenarına etki eden manyetik kuvvet sayfa düzlemine dik ve dışa doğrudur. LM kenarına etki eden



Şekil 2.49 *Düzgün bir manyetik alan içinde, üzerinden akım geçen çerçeveye etki eden kuvvetler*

manyetik kuvvet ise sayfa düzlemine dik ve içe doğrudur. Bu manyetik kuvvetler eşit şiddettedir. Buna göre kenarlardan birine etki eden kuvvetin büyüklüğü $F = B \cdot i \cdot \ell . \sin\alpha$ olur.

Manyetik kuvvetler eşit şiddette ve zıt yönlü olduğundan bir kuvvet çifti oluşturarak çerçeveyi OO' ekseni etrafında döndürür. Bu kuvvetlerin OO' eksenine göre oluşturduğu toplam tork;

$\tau = F \cdot \frac{d}{2} + F \cdot \frac{d}{2} = F \cdot d$ olur.

$F = B \cdot i \cdot \ell \cdot \sin\alpha$ bağıntısı kullanılarak

$\tau = B \cdot i \cdot \ell \cdot \sin\alpha \cdot d$ olur.

Çerçevenin yüzey alanı $A = \ell \cdot d$ olduğundan bu iki terim yerine A yazılırsa

$\tau = B \cdot i \cdot A \cdot \sin\alpha$ olur.

Bu bağıntıda;

τ tel çerçeveye etki eden toplam tork,

B tel çerçevenin içinde bulunduğu manyetik alanın şiddeti,

i tel çerçeveden geçen akım şiddeti,

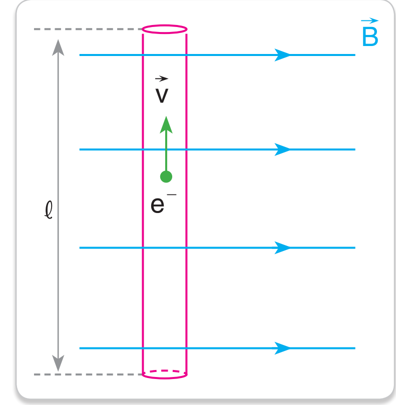
A tel çerçevenin alanı,

α tel çerçevenin oluşturduğu düzlemin normali ile manyetik alan arasındaki açıdır.

Tel çerçeve Şekil 2.49'daki konumda iken $\alpha = 90^\circ$ ve $\sin 90^\circ = 1$ olduğu için tork maksimum değerde olur. Çerçeve dönerken α açısı sürekli azalacağı için çerçeveye etki eden toplam tork da azalır. Çerçeve şekildeki konumdan itibaren 90° döndüğünde alanın normali ile manyetik alan birbirine paralel olur. $\alpha = 0^\circ$ ve $\sin 0^\circ = 0$ olduğu için tork sıfır olur. Burada torkun azalarak sıfır olması çerçevenin duracağı anlamına gelmez. Tel çerçeve OO′ ekseni etrafında serbestçe dönebildiğinden ve torkun sıfır olduğu anda bir dönüş hızına sahip olduğundan eylemsizliği nedeniyle bu noktadan geçer. Bu noktadan sonra tork sıfırdan artarak en büyük değere ulaşır. Bu döngü bu şekilde devam edeceğinden manyetik alan içinde, üzerinden akım geçen tel çerçevenin dönme hareketi süreklilik kazanacaktır.

2.4.5. Yüklü Parçacıkların Manyetik Alan İçindeki Hareketi

Bir maddenin etrafında manyetik alan oluşmasının, maddenin atomlarındaki elektronların hareketinden kaynaklandığını ve akım geçen bir telde de hareket eden elektronların (dolayısıyla oluşan akımın) telin etrafında bir manyetik alan oluşturduğunu öğrendiniz. Bu durumda manyetik alan içinde ve akım taşıyan bir iletkene etki eden manyetik kuvvet, iletkendeki hareketli yüklere etki eden kuvvetlerin bileşkesi olur.



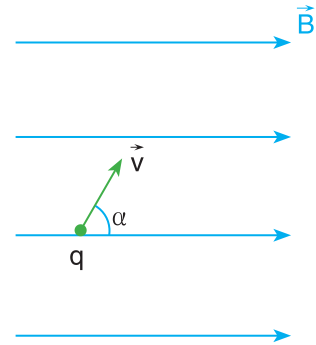
Şekil 2.50 Manyetik alan içindeki tele manyetik kuvvetin etki etmesinin temel nedeni elektron hareketidir.

Şekil 2.50'de düzgün bir manyetik alan içinde, uzunluğu ℓ olan iletken teli v hızıyla t sürede geçen bir elektron görülmektedir. t sürede geçen elektronların oluşturduğu toplam yük q ise oluşan akım, $i = q / t$ olur. $\vec{B}$ manyetik alanına giren q yüklü parçacığa etki eden manyetik kuvvetin büyüklüğü, $F = B \cdot i \cdot \ell \cdot \sin\alpha$ bağıntısında akım değeri kullanıldığında

$F = B \cdot \frac{q}{t} \cdot \ell \cdot \sin\alpha$ olur. Yüklü parçacık uzunluğu ℓ olan iletken teli t sürede v hızıyla aldığına göre; $v = \ell / t$'dir. Bu ifade manyetik kuvvet bağıntısında kullanılırsa kuvvetin büyüklüğü,

$$F = B \cdot \frac{q}{t} \cdot \ell \cdot \sin\alpha$$

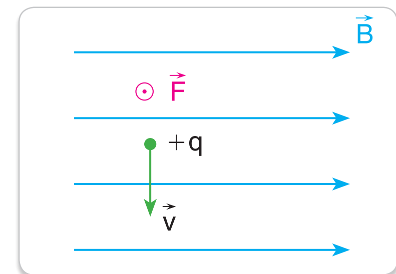
$$F = B \cdot q \cdot v \cdot \sin\alpha \text{ olur.}$$



Şekil 2.51 Düzgün bir manyetik alana α açısıyla giren q yüklü parçacık, akım oluşturduğu için manyetik kuvvete maruz kalır.

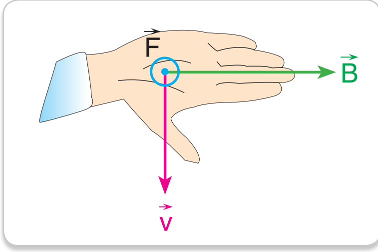
Bağıntıdaki α açısı Şekil 2.51'deki gibi, hız vektörü ile manyetik alan arasındaki açıdır.

Yüklü bir parçacığın hareketi elektrik akımı oluşturur. Oluşan elektrik akımının yönünün "–" yüklerin hareketi ile ters, "+" yüklerin hareketi ile aynı yönde olduğunu 10. sınıfta öğrenmiştiniz. Bir manyetik alan içerisinde hareket eden yüklü parçacıklara etki eden manyetik kuvvetin yönü sağ el kuralıyla bulunur. Manyetik alan içinde Şekil 2.52'deki gibi hareket eden parçacık pozitif yüklü ise başparmak hız yönünü ("+" yüklü parçacığın hareket yönünü, akımın yönü olarak düşünülerek), dört parmak da manyetik alan yönünü gösterecek biçimde Şekil 2.53'teki gibi açılır. Bu durumda avuç içi "+" yüklü parçacığa etki eden manyetik kuvvetin yönünü gösterir.

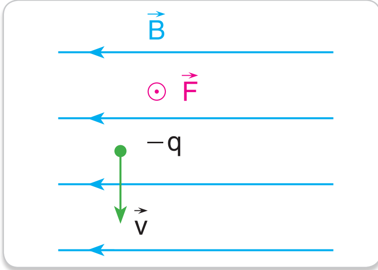


Şekil 2.52 Düzgün bir $\vec{B}$ manyetik alan içindeki pozitif yüklü parçacığa etki eden manyetik kuvvet vektörünün yönü, hız ve manyetik alan vektörlerinin yönlerine bağlıdır.

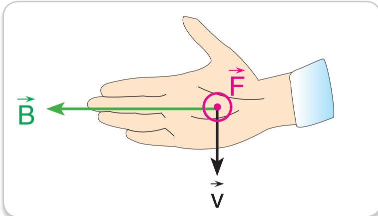
Bu kez Şekil 2.54'teki gibi manyetik alan içinde hareket eden parçacığa etki eden manyetik kuvvetin yönünü bulalım. Oluşan akımın yönü, negatif yüklü parçacığın hareketiyle ters yönde



Şekil 2.53 *Düzgün bir manyetik alan içindeki pozitif yüklü parçacığa etki eden manyetik kuvvetin yönü sağ el kuralıyla bulunur.*



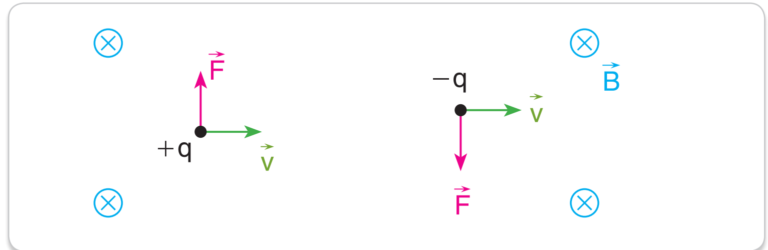
Şekil 2.54 *Düzgün bir* $\vec{B}$ *manyetik alan içindeki negatif yüklü parçacığa etki eden manyetik kuvvet vektörünün yönü, hız ve manyetik alan vektörlerinin yönlerine bağlıdır.*



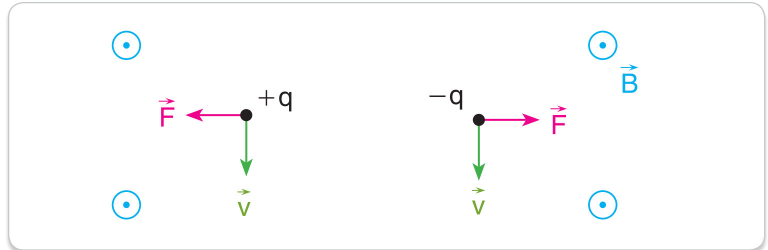
Şekil 2.55 *Negatif yüklü parçacığa etki eden manyetik kuvvetin yönü sağ el kuralıyla bulunur.*

olduğundan başparmak Şekil 2.55'teki gibi, parçacığın hareket yönünün (yani hız vektörünün) tersi yönünü gösterir. Diğer dört parmak manyetik alan yönünü gösterecek biçimde tutulursa avuç içi parçacığa etki eden manyetik kuvvetin yönünü gösterir.

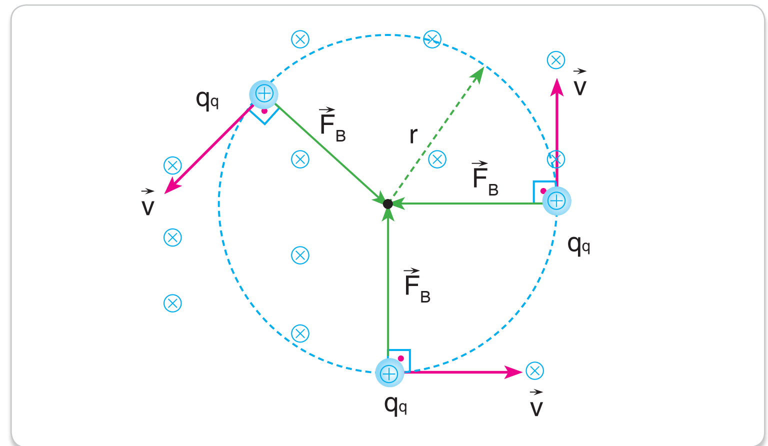
Şekil 2.56'da yönü sayfa düzlemine dik ve içe doğru olan bir manyetik alan içinde hareket eden yüklü parçacıklara etki eden manyetik kuvvetlerin yönleri gösterilmiştir. Şekil 2.57'de yönü sayfa düzlemine dik ve dışa doğru olan manyetik alan içinde hareket eden yüklü parçacıklara etki eden manyetik kuvvetlerin yönleri gösterilmiştir.



Şekil 2.56 *Sayfa düzlemine dik ve içe doğru olan bir manyetik alandaki yüklü parçacıklara etki eden manyetik kuvvetlerin yönleri*



Şekil 2.57 *Sayfa düzlemine dik ve dışa doğru olan bir manyetik alandaki yüklü parçacıklara etki eden manyetik kuvvetlerin yönleri*



Şekil 2.58 *Manyetik alana dik olarak giren yüklü parçacık manyetik kuvvet nedeniyle dairesel hareket yapar.*

Manyetik alan içerisinde hareket eden yüklü bir parçacığa etki eden kuvvet her zaman parçacığın hızına yani parçacığın hareket doğrultusuna diktir. Bu nedenle manyetik kuvvetin parçacık üzerine yaptığı iş sıfır olur ve parçacığın kinetik enerjisini değiştirmez. Manyetik kuvvet, yüklü parçacığın hızının büyüklüğünü değiştirmez. Fakat yönünü değiştirir.

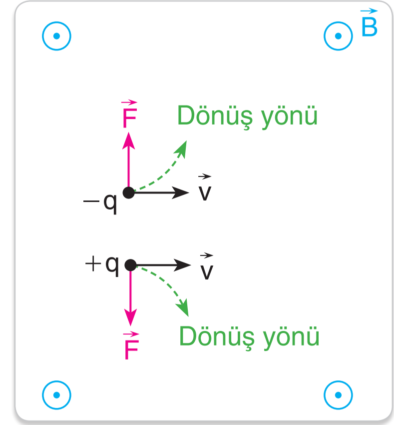
Yüklü parçacık Şekil 2.58'deki gibi manyetik alana dik girdiğinde, manyetik kuvvet daima hıza dik olacağından, parçacık alan içinde dairesel hareket yapar. Parçacığın dairesel hareket yapması için yüklü parçacığa etki eden manyetik kuvvetin merkezcil kuvvete eşit olması gerekir. Dairesel hareket konusunu 12. sınıfta öğreneceğiniz için bu eşitliğin detayına burada girmeyeceğiz.

B büyüklüğündeki manyetik alana dik olarak v hızı ile giren m kütleli, q yüküne sahip parçacığın yapacağı dairesel hareketin yarıçapı,

$r = \frac{m \cdot v}{q \cdot B}$ bağıntısı ile bulunur.

Bu bağıntıya göre parçacığın çizdiği yörüngenin yarıçapı, kütlesi ve hızıyla doğru orantılı, parçacığın yükü ve manyetik alan şiddetiyle ters orantılıdır.

Parçacığın dönüş yönü ise Şekil 2.59'daki gibi bulunur. Öncelikle, yüklü parçacığa uygulanan manyetik kuvvetin yönü sağ el kuralı ile belirlenir. Bu kuvvetin yönü aynı zamanda parçacığın yapacağı dairesel hareketin merkezine doğrudur. Şekil 2.59'da, sağ el kuralına göre uygulanan kuvvetler sonucunda "+" yüklü parçacık saat ibresi yönünde dairesel hareket yaparken "–" yüklü parçacık saat ibresinin tersi yönünde dairesel hareket yapar.

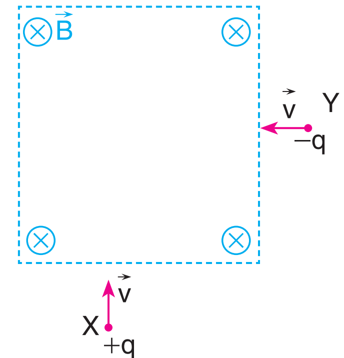


Şekil 2.59 *"+" ve "–" yüklere manyetik alan içinde uygulanan kuvvetler zıt yönlü olduğundan dönüş yönleri de birbirine zıt yönde olur.*



Sıra Sizde 2.19

Sayfa düzleminden içe doğru oluşturulan bir manyetik alana, şekildeki gibi gösterilen yönlerde giren "+" yüklü X ve "–" yüklü Y parçacıklarının yaptıkları dairesel hareketin yönlerini bulunuz.





Okuma Parçası

YÜZYILIN DENEYİ: LHC (BÜYÜK HADRON ÇARPIŞTIRICISI)

Fransa-İsviçre sınırında, yerin 100 metre altından geçen 27 kilometre uzunluğundaki tünele inşa edilen LHC (Büyük Hadron Çarpıştırıcısı) Aralık 2009 tarihinde proton çarpışmalarına başladı. Hızlandırıcının üzerindeki her biri birkaç katlı apartman büyüklüğündeki 4 dedektör de yıllar süren hazırlıklardan sonra veri toplamaya başladı. CERN (Avrupa Nükleer Araştırma Konseyi) laboratuvarında yer alan bu deneyler CMS, ATLAS, LHCB ve ALICE olarak isimlendirilmiştir. Protonların 14 TeV (Tera elektron volt ya da trilyon elektron volt) enerjisi ile merkezi çarpışacakları bu deneyler, araştırmacılara evrenin ilk zamanlarını anlama imkânı verecektir. LHC hızlandırıcısında her biri 7 TeV enerjiye sahip olan ve 27 kilometrelik dairesel tünel içinde ışık hızına çok yakın hızlarda yol alan protonlar kafa kafaya çarpışarak 14 TeV'luk merkezi enerji meydana getirecek ve böylelikle atom altı dünyasının şimdiye kadar göremediğimiz bölgelerini inceleme olanağı sağlayacaktır. Bu bölgedeki enerji yoğunluğu, evrenin başlangıcındaki Big Bang (Büyük Patlama) koşullarına yakın olduğundan dolayı, basında LHC deneyleri "Big Bang" deneyleri adıyla da adlandırılmaktadır. Ancak mutlak anlamda üretilen enerji bir kibrit ateşi kadar bile değildir.

Bu deneylerin temel amacını, "parçacık fiziği"nde varılan son nokta olan Standart Model adını verdiğimiz teorinin yanıtlayamadığı sorulara yanıt bulmak diye özetleyebiliriz. Standart Model bize maddenin yapı taşlarının nasıl davrandığını ve birbiriyle nasıl etkileştiklerini açıklamakta ama bunların nedenleri hakkında bilgi vermemektedir. LHC deneyleri ile bunların nedenlerini öğrenmeyi hedeflemekteyiz.

LHC Tehlikeli Değilse Neden Yer Altında Yapıldı?

LHC deneylerinin anti atom deneyleri ile hiçbir ilgisi olmadığı gibi bu deneylerin hiçbir tehlikesi de yoktur. Hızlandırıcının yerin 100 m altında yapılma nedeni kozmik ışınlardan korunmak içindir. LHC hızlandırıcısından önce aynı tünelde elektron pozitron çarpıştırıcısı (LEP) vardı. 1980'lerin başında LEP ve LEP deneyleri tasarlanırken yapılacak ölçümler hassas olacağı için ve o dönemki dedektör teknikleri kozmik ışınların etkisini yeterince ayırt edemeyeceği için tünel yerin 100 m altına yapılmıştı. LHC hızlandırıcısı da aynı tüneli kullanmaktadır.



Araştırma Görevi

Manyetik kuvvetlerin teknolojide kullanım alanları ile ilgili bir araştırma yapınız. Araştırma sonuçlarını sunu haline getirip arkadaşlarınızla paylaşınız. Görevinizi yaparken öğretmeninizin yönergelerini takip ediniz.

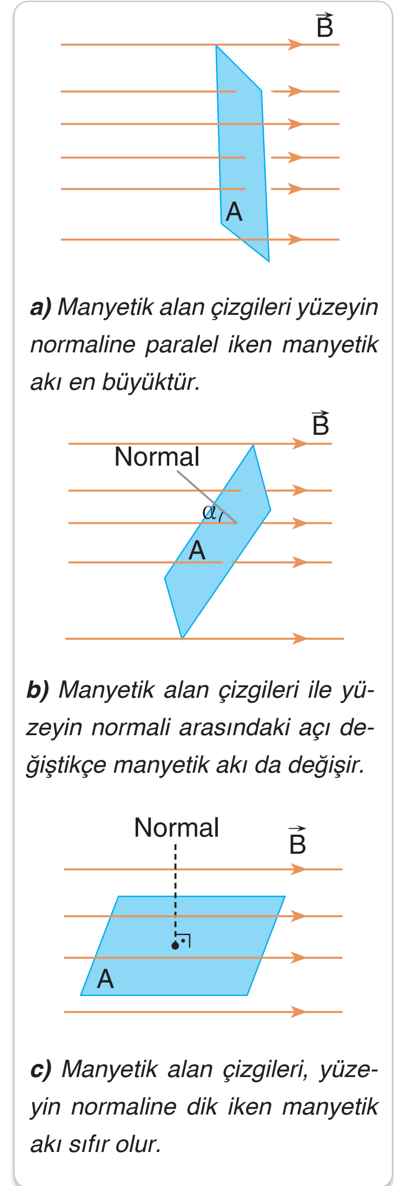
2.4.6. Manyetik Akı

Hareketsiz duran elektrik yükleri etraflarında yalnızca elektrik alan oluşturur. Elektrik yüklerinin hareketi elektrik akımını, elektrik akımı ise manyetik alanı oluşturur. Bir yüzeyden geçen toplam manyetik alan, manyetik akı olarak tanımlanır. Bu yönü ile elektrik akımı konusundaki toplam yüke benzetilebilir.

Manyetik akı, Φ (fi) ile gösterilir. Skaler bir büyüklüktür. $\Phi = B \cdot A$ formülü ile hesaplanır. Bu bağıntı için birimler Tablo 2.8'de verilmiştir.

Tablo 2.8 *Manyetik akı için birim tablosu*

Manyetik akı	Manyetik alan şiddeti	Yüzey alanı
Φ	B	A
Wb	Wb/m^2	m^2



a) *Manyetik alan çizgileri yüzeyin normaline paralel iken manyetik akı en büyüktür.*

b) *Manyetik alan çizgileri ile yüzeyin normali arasındaki açı değiştikçe manyetik akı da değişir.*

c) *Manyetik alan çizgileri, yüzeyin normaline dik iken manyetik akı sıfır olur.*

Şekil 2.60 *Manyetik alan çizgileri ile yüzey arasındaki açı değişirse yüzeyden geçen manyetik alan çizgi sayısı değişir.*

Manyetik alan çizgileri, Şekil 2.60.a'daki gibi yüzeye dik iken yüzeyden geçen manyetik alan çizgi sayısı en büyük değerde olduğundan manyetik akı da en büyük değerdedir. Yüzeyin normali ile manyetik alan çizgileri arasındaki açının sıfır olduğuna dikkat ediniz. Bu durumda manyetik akı, $\Phi = B \cdot A$ formülü ile bulunur.

Yüzey, Şekil 2.60.a'daki konumundan saat yönünde α açısı kadar döndürülürse durum Şekil 2.60.b'deki gibi olur. Manyetik alan çizgileri ile yüzeyin normali arasındaki açı α kadar olduğunda yüzeyden geçen manyetik akı, $\Phi = B \cdot A \cdot \cos\alpha$ formülü ile hesaplanır.

Yüzey döndürülmeye devam edilerek Şekil 2.60.c'deki gibi manyetik alan çizgileri ile paralel hâle getirilirse yüzeyden hiç manyetik alan çizgisi geçmez. Yani manyetik akı, $\Phi = 0$ olur. Bu durumda manyetik alan çizgilerinin, yüzeyin normali ile 90° açı yaptığına dikkat ediniz. Şekil 2.60'ı incelediğimizde manyetik akının değerini etkileyen 3 değişken olduğunu söyleyebiliriz. Bu değişkenler; manyetik alan şiddeti, yüzey alanın büyüklüğü ve manyetik alan çizgileri ile yüzeyin normali arasındaki açıdır.

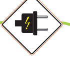
2.4.7. İndüksiyon Akımı

1820'de Hans Christian Oersted'in, üzerinden akım geçen bir telin etrafında manyetik alan oluştuğunu keşfetmesi bilim dünyasında büyük bir yankı bulmuştu. Ancak bunun tam tersi bir olay, yani manyetik alandan elektrik akımı elde edilmesi çok daha büyük bir etkiye neden olmuştur. Bir manyetik alan, elektrik üretebilecek

bir elektrik alan üretebilir. Bu şekilde elektrik akımı üretmek için Faraday (Faraday) Kanunları'ndan yararlanılır. Bir manyetik alan kullanarak elektrik akımı oluşturulduğunu görebileceğiniz Etkinlik 2.5'i yapınız.



Etkinlik 2.5



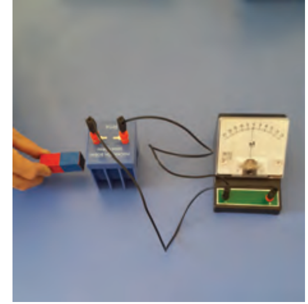
Araç Gereçler

- İndüksiyon akım makarası, 1200 sarım
- Doğru akım ampermetresi (0-25 mA, ibresi iki yönlü hareket edebilen)
- Bağlantı kablosu (2 adet)
- Çubuk mıknatıs

Manyetik Alan ve Elektrik Akımı

Amacı: Manyetik alan kullanarak elektrik akımı elde etmek, oluşan elektrik akımının bağlı olduğu değişkenleri analiz etmek

Etkinliğin Basamakları



- Akım makarasının uçlarındaki girişlere taktığınız bağlantı kablolarının diğer uçlarını da görseldeki gibi ampermetreye takınız.
- Çubuk mıknatısın, N kutbunu akım makarasının merkezine doğru yaklaştırıp uzaklaştırınız. Bu sırada ampermetreyi gözlemleyiniz. Ampermetre ibresinin hareket yönlerine dikkat ediniz.
- Çubuk mıknatısı ikinci adımdakine göre daha hızlı bir şekilde yaklaştırıp uzaklaştırınız. Bu sırada ampermetreyi gözlemleyiniz.
- Şimdi de mıknatısın S kutbunu akım makarasının merkezine doğru yaklaştırıp uzaklaştırınız. Bu sırada ampermetreyi gözlemleyiniz. Ampermetre ibresinin hareket yönlerine dikkat ediniz.

Sonuca Varalım

- Çubuk mıknatısın N kutbu, akım makarasına yaklaşırken ve ondan uzaklaşırken ampermetrede nasıl bir değişim gözlemlediniz? Nedenini açıklayınız.
- Mıknatısın hızının değiştirilmesi ile ampermetrede nasıl bir değişim gözlemlediniz? Nedenini açıklayınız.
- Mıknatısın kutuplarının yönünün değiştirilmesi ampermetrede nasıl bir değişime sebep oldu? Nedenini açıklayınız.

Manyetik alan kullanılarak elektrik elde edilmesi, başlangıçta bilimsel bir temel olarak yer edinmesine rağmen ilerleyen yıllarda birçok uygulama alanı oluşturmuştur. Etkinlik 2.5'teki gibi elde edilen akıma **"indüksiyon akımı"**, bu akımı oluşturmak için birim yük başına yapılan işe (oluşan potansiyel farka) **"indüksiyon elektromotor kuvveti" (indüksiyon emk)** ve akımı elde ettiğimiz sürece de **"indükleme" (indüksiyon)** denir.

Yaptığınız etkinlikte indüksiyon akımının oluşmasındaki temel sebep, mıknatısın akım makarasına yaklaşıp uzaklaşması sırasında manyetik akının değişmesidir. Mıknatısın akım makarasına yaklaşıp uzaklaşması sırasında, akım makarası üzerinde oluşan indüksiyon akımı yön değiştirir. Ayrıca yine Etkinlik 2.5'te görüldüğü gibi mıknatısın, akım makarasına yaklaşıp uzaklaşma hızı oluşan indüksiyon akımının büyüklüğü, dolayısıyla oluşan indüksiyon emk'nin büyüklüğü üzerinde etkilidir.

Manyetik akıyı daha önce, bir yüzeyden geçen toplam manyetik alan olarak tanımlamıştık ve $\Phi = B \cdot A \cdot \cos\alpha$ şeklinde ifade etmiştik. Manyetik akıdaki değişimi $\Delta\Phi$ olarak gösterirsek $\Phi\Delta = \Phi_{son} - \Phi_{ilk}$ olarak ifade edebiliriz. Oluşan indüksiyon emk ise birim zamanda akıda meydana gelen değişim olarak tanımlanır ve Faraday Kanunu olarak bilinen $\varepsilon = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ bağıntısı ile bulunur. Buradaki "–" işaretinin, indüksiyon akımının ve indüksiyon emk'nin büyüklüğü üzerinde bir etkisi yoktur. Alman Fizikçi Heinrich Lenz (Henrih Lenz, 1804-1865) tarafından geliştirilen ve Lenz Kanunu olarak anılan fiziksel bir ilkeye göre oluşan emk'nin yönü, manyetik akı değişimine karşı koyacak yöndedir.

Şimdi manyetik akının birim zamandaki değişimi, indüksiyon emk oluşturduğuna göre manyetik akıyı değiştirebilecek etkileri inceleyelim.

Manyetik akı $\Phi = B \cdot A \cdot \cos\alpha$ olduğuna göre;

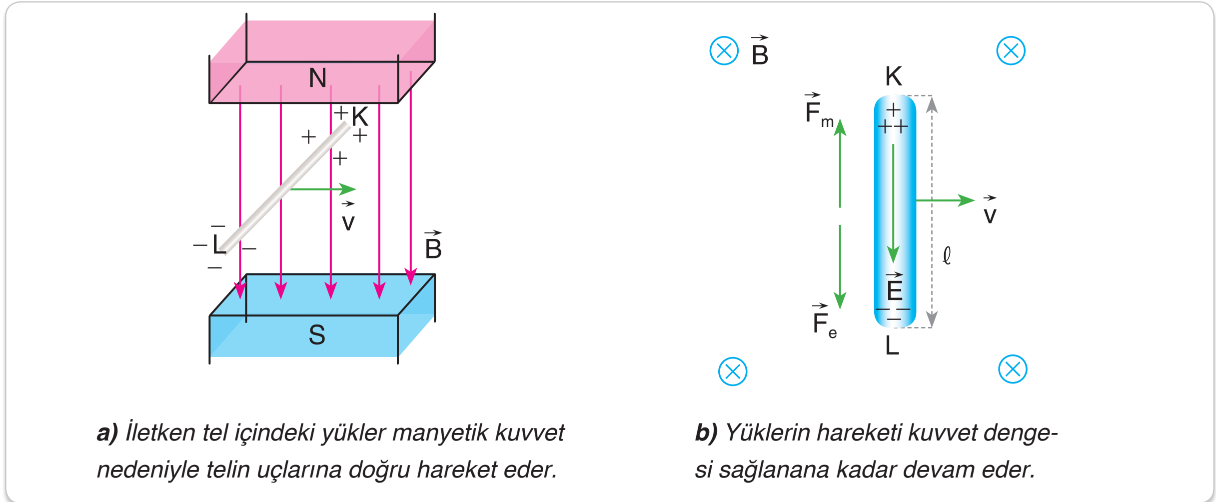
- Manyetik alanın büyüklüğünü zamanla değiştirmek,
- Manyetik alanın içinden geçtiği halkanın alanını zamanla değiştirmek,
- Manyetik alan çizgileri ile yüzeyin normali arasındaki α açısını zamanla değiştirmek,
- Yukarıdaki değişkenlerden herhangi birilerini birlikte değiştirmek manyetik akıyı değiştirebilir.

Şimdi bu değişkenleri değiştirerek indüksiyon emk'nin nasıl oluşturulabildiğini inceleyelim.

Düz Telin Manyetik Alan İçinde Hareket Ettirilmesi ile Emk Elde Edilmesi

a. Telin Doğrusal Hareket Etmesi ile Emk Elde Edilmesi

Şekil 2.61.a'daki gibi iletken bir teli düzgün bir manyetik alan içinde sabit $\vec{v}$ hızı ile hareket ettirdiğimizi düşünelim. İletken tel içindeki elektronlar, manyetik kuvvet nedeniyle (ve sağ el kuralına göre) telin L ucuna doğru hareket eder ve L ucu "–" yükle yüklenir. Bu sırada telin K ucunda elektron eksikliği olduğundan K ucu "+" yükle yüklenir. Manyetik kuvvet; "–" yükleri L ucuna, "+" yükleri K ucuna iterken aynı zamanda bu yükler birbirini elektriksel kuvvetin etkisi ile çekmektedir. O hâlde yüklerin hareketi bu iki kuvvetin birbirine eşit olduğu ana kadar devam eder. Telin iki ucu zıt işaretli yüklü olduğundan bir pil gibi potansiyel farka sahip olur (Şekil 2.61.b).



a) *İletken tel içindeki yükler manyetik kuvvet nedeniyle telin uçlarına doğru hareket eder.*

b) *Yüklerin hareketi kuvvet dengesi sağlanana kadar devam eder.*

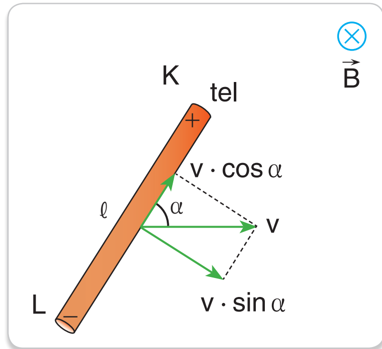
Şekil 2.61 *Bir manyetik alan içinde iletken bir tel hareket ettirildiğinde telin uçları arasında potansiyel fark oluşur.*

$\vec{F}_e = -\vec{F}_m$ olduğu anda indüksiyon akımı sona erer.

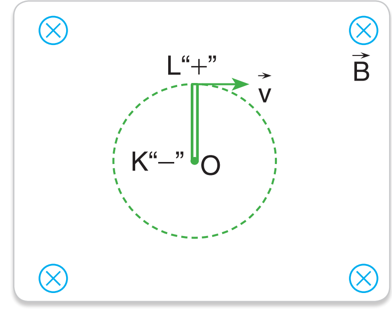
$q \cdot E = -q \cdot v \cdot B$ olur. Telin uçları arasındaki potansiyel fark ε, telin uzunluğu ℓ iken uçları arasında oluşan elektrik alanın büyüklüğü $E = \frac{\varepsilon}{\ell}$ olur.

$q \cdot \frac{\varepsilon}{\ell} = -q \cdot v \cdot B$ ve $\varepsilon = -B \cdot v \cdot \ell$ olur. Şekil 2.61.a'da hız vektörü tele diktir.

Hız vektörü ile tel arasında Şekil 2.62'deki gibi bir α açısı varsa, hız vektörünün tele dik bileşeni $v \cdot \sin\alpha$ olacağından oluşan emk; $\varepsilon = -B \cdot v \cdot \ell \cdot \sin\alpha$ bağıntısı ile bulunur.



Şekil 2.62 *Telin manyetik alan içinde hareketi ile elde edilen emk'nin büyüklüğü, hız vektörünün tele dik bileşeni ile doğru orantılıdır.*



Şekil 2.63 İletken bir tel, manyetik alan içinde bir nokta etrafında dairesel hareket yaptığında uçları arasında indüksiyon emk oluşur.

b. Telin Dairesel Hareket Etmesi ile Emk Elde Edilmesi

Şekil 2.63'teki gibi O noktası etrafında dönebilen KL iletken telinin, manyetik kuvvet etkisi ile K ucu "–" , L ucu "+" işaretli yüklerle yüklenir. İletken tel, O noktası etrafındaki dairesel hareketini ω açısal hızı ile yapıyorsa K-L uçları arasında oluşan indüksiyon emk'nin büyüklüğü

$\varepsilon = \frac{1}{2} \cdot B \cdot \omega \cdot \ell^2$ ile bulunur. Burada ω

KL telinin O noktası etrafında yaptığı dairesel hareketin açısal hızı olup 1 saniyede radyan cinsinden taradığı açı olarak tanımlanır.

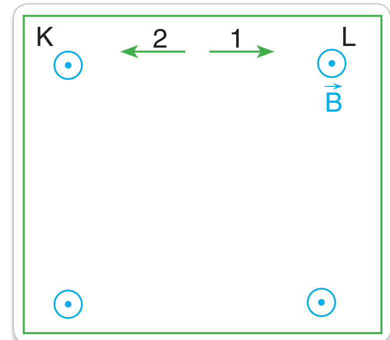
Manyetik Alanın Büyüklüğünün Değiştirilmesi ile Emk Elde Edilmesi ve İndüksiyon Akımının Yönü

Şekil 2.64'teki gibi yüzey alanı ve manyetik alan çizgileri ile yüzeyin normali arasındaki açı sabit tutulan düzenekte, manyetik alan şiddeti zamanla değiştirildiğinde manyetik akı değişeceğinden indüksiyon emk oluşur. Bu emk aynı zamanda halka üzerinde bir akıma sebep olur. Bu akımın yönü Lenz Kanunu ile bulunur. Lenz Kanunu'na göre oluşan indüksiyon akımının yönü manyetik akının değişimine karşı koyacak şekildedir. Başka bir ifade ile indüksiyon akımının yönü manyetik akı azalıyorsa artıracak, manyetik akı artıyorsa azaltacak şekildedir. İndüksiyon akımı manyetik akının değerini sürekli sabit tutmaya çalışması bakımından eylemsizliğe benzetilebilir.

Şekil 2.64'te manyetik alan şiddeti artırılarak manyetik akının artması sağlanırsa telde, manyetik akıyı azaltacak yönde bir akım oluşur. Bu akımın oluşturacağı manyetik alanın yönü sayfa düzleminden içe doğru olmalıdır. Sağ elin başparmağı bu manyetik alanın yönünü gösterdiğinde halkayı kavrayan 4 parmak da oluşan indüksiyon akımının yönünü gösterir. Bu durumda oluşan akımın yönü halkanın K-L bölümünde 1 yönündedir.

Aynı şekilde manyetik alan şiddeti azaltılarak manyetik akının azalması sağlanırsa da benzer yol kullanılarak oluşan indüksiyon akımının yönünün telin K-L bölümünde 2 yönünde olacağı bulunur.

Manyetik alanın şiddetinin değişmesi farklı yöntemlerle sağlanabilir. Etkinlik 2.5'teki gibi mıknatısın yaklaştırılıp uzaklaştırılması bu yöntemlerden biri olabilir.



Şekil 2.64 Manyetik alan şiddetinin değiştirilmesi yüzeyden geçen manyetik akıyı değiştireceği için bir indüksiyon emk oluşur.

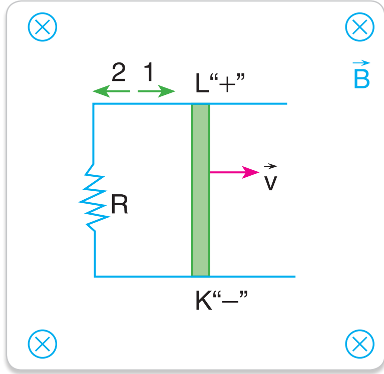
Halkanın Yüzey Alanının Büyüklüğünün Değiştirilmesi ile Emk Elde Edilmesi

Şekil 2.65'teki gibi bir KL iletken telinin v hızı ile hareket ettirilmesi sonucu devredeki halka bölümünden geçen manyetik alan çizgi sayısı, yani manyetik akı değişir. Bu manyetik akı değişimi indüksiyon emk ve indüksiyon akımını oluşturur.

Oluşan indüksiyon akımının yönü iki farklı yöntemle bulunabilir.

Birinci yöntem: Tel sağa çekildiğinde manyetik kuvvetin etkisi ile telin L ucu "+" , K ucu "–" işaretle yüklenir. KL teli bir pil gibi davranarak devreden 2 yönünde akım oluşur. KL telinin sola çekilmesi durumunda ise L ucu "–" , K ucu "+" işaretle yüklenir ve 1 yönünde akım oluşur.

İkinci yöntem: KL teli sağa doğru hareket ederken halkanın alanı artar. Halkanın içinden geçen manyetik alan çizgi sayısı artacağından manyetik akı da artar. Lenz Kanunu'na göre halka, artan bu akıyı azaltacak yönde bir indüksiyon akımı oluşturur. Bu indüksiyon akımı, sayfa düzleminden dışa doğru bir manyetik alan oluşturacağından 2 yönünde oluşur. Yine tel benzer biçimde sola doğru çekildiğinde manyetik akı azalacağından halka üzerinde bu manyetik akıyı artırma yönünde bir indüksiyon akımı oluşur. Azalan manyetik akıyı artırmak için sayfa düzleminden içe doğru bir manyetik alan oluşmalıdır ve bu da sağ el kuralına göre 1 yönünde akım geçmesi ile sağlanır.



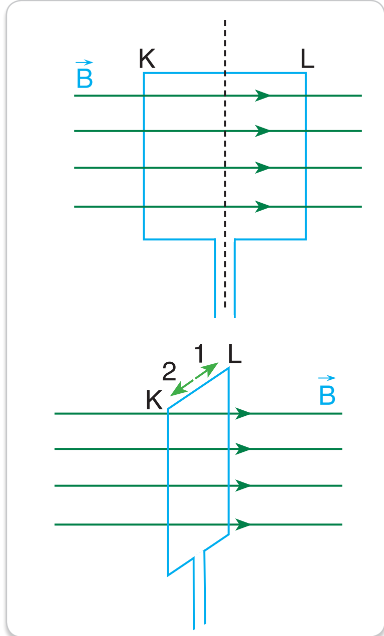
Şekil 2.65 *KL telinin hareketi ile yüzey alanı değişeceğinden manyetik akı da değişir ve bir indüksiyon akımı oluşur.*

Oluşan indüksiyon emk'nin büyüklüğü $\varepsilon = B \cdot v \cdot \ell$ olur. Devrenin toplam direnci R ise Ohm Kanunu kullanılarak oluşan indüksiyon akımının büyüklüğü $i_{indüksiyon} = \frac{\varepsilon}{R}$ bağıntısı ile bulunur.

Halkanın Döndürülmesi ile Emk Elde Edilmesi

Şekil 2.66'daki gibi bir halkanın döndürülmesi sonucu, manyetik alan çizgileri ile halka yüzeyinin normali arasındaki açı değişir. Açının değişmesi manyetik akıyı değiştirirken manyetik akının değişimi de indüksiyon emk oluşturur. Oluşan emk,

$$\varepsilon = -\frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = \frac{\Phi_{son} - \Phi_{ilk}}{\Delta t} \text{ olur.}$$



Şekil 2.66 *Halkanın döndürülmesi ile manyetik akı değişir ve indüksiyon akımı oluşur.*

İndüksiyon akımının yönü yine Lenz Kanunu kullanılarak bulunur. Halka yüzeyinin normali ile manyetik alan çizgilerinin arasındaki açı ilk konumda 90° olduğundan manyetik akı sıfırdır. Halka α kadar $(\alpha \leqslant 90^\circ$ olmak üzere$)$ döndürüldüğünde

manyetik akı artar. Halka üzerinde bu manyetik akıyı azaltacak biçimde, dışarıdan uygulanan manyetik alana zıt yönde (sola doğru) bir manyetik alan oluşturan indüksiyon akımı oluşur. Sağ el kuralı uygulanarak akımın yönü telin K-L bölümünde 1 yönünde olacak şekilde bulunur. $\alpha = 90°$ olduğunda manyetik akı en büyük değerine ulaşır. Halka aynı yönde döndürülmeye devam ederse bu defa manyetik akı azalmaya başlar. Halka üzerinde, bu manyetik akıyı artıracak yönde bir indüksiyon akımı oluşur. Sağ el kuralı kullanılarak bu defa telin K-L bölümündeki indüksiyon akımının yönü 2 yönünde bulunur. Şekil 2.66'dakine benzer bir sistem kurulduğunda manyetik akı artarken 1 yönünde, manyetik akı azalırken ise 2 yönünde bir indüksiyon akımı oluşur. Bu, aynı zamanda alternatif akımın temel fikri olup ayrıntısı bir sonraki bölümde işlenecektir.



Okuma Parçası

İNDÜKSİYON AKIMININ UYGULAMALARI

İndüksiyon akımı ve bu akımın etkileri birçok uygulama alanına sahiptir. Görsel 2.25'teki elektrik ocağı indüksiyon ilkesini temel alarak yemekleri pişirir. Özel bir camdan yapılmış olan pişirici yüzeyin altına konulan bir akım makarasından alternatif akım geçirilir. Bu akım manyetik alan oluşturur. Bu da pişirme kaplarında bir akım meydana getirir. Pişirme kaplarının bir miktar elektriksel dirence sahip olmaları nedeniyle, indüklenen akıma eşlik eden elektriksel enerji iç enerjiye dönüştürülür. Bu da kabın ve içindeki yemeğin ısınmasına neden olur.

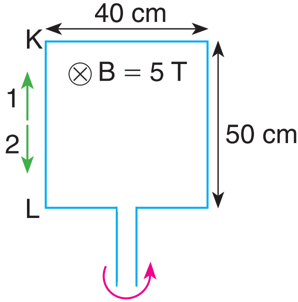
Mekanik kapı zillerinde, elektrogitarlarda, topraklama devrelerinde, devre kesicilerde, hoparlörlerde vb. pek çok yerde indüksiyon akımı kullanılır.



***Görsel 2.25** İndüksiyon akımının, elektrik ocakları da dahil pek çok uygulama alanı vardır.*

2.4.8. Manyetik Akı ve İndüksiyon Akımı ile İlgili Hesaplamalar

ÖRNEK 26



Kenar uzunlukları 40 cm ve 50 cm olacak şekilde oluşturulan dikdörtgen biçimindeki iletken telden yapılmış halka, yüzeyinin normali 5 T büyüklüğündeki manyetik alana paralel olacak biçimde şekildeki gibi konuluyor. Buna göre;

a) İlk konumundaki manyetik akıyı,

b) Ok yönünde 37° döndürülmesi ile oluşan yeni akıyı,

c) 37° lik dönüşün $5 \cdot 10^{-2}$ s içinde olması hâlinde oluşan indüksiyon emk'nin büyüklüğünü,

ç) Bu dönüş sırasında oluşan indüksiyon akımının halkanın K-L bölümündeki yönünü bulunuz $(\cos 37° = 0,8)$.

ÇÖZÜM

Bu şekilde manyetik akı ilk konumda en büyük değerde iken, halkanın döndürülmesi ile manyetik akı azalmış ve bir indüksiyon emk elde edilmiştir.

a) İlk durumda manyetik alan çizgileri ile halka yüzeyinin normali arasındaki açı sıfır olduğundan manyetik akı en büyük değerdedir ve $\Phi = B \cdot A$ ile bulunur.

Alan,

$$A = 40 \cdot 50 = 2000 = 2 \cdot 10^3 \text{ cm}^2 = 0,2 \text{ m}^2 \text{ dir.}$$

Manyetik alanın ve halkanın yüzey alanının değerleri yerine yazılırsa $\Phi = 5 \cdot 0,2 = 1 \text{ Wb}$ bulunur.

b) Halka ok yönünde 37° döndürülürse manyetik alan çizgileri ile yüzeyin normali arasındaki açı, $\alpha = 37°$ olur. Bu durumda manyetik akı $\Phi = B \cdot A \cdot \cos\alpha = 5 \cdot 0,2 \cdot 0,8 = 0,8 \text{ Wb}$ olur.

c) Manyetik akının değişimi indüksiyon emk oluşturur ve bu emk $\varepsilon = -\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t} = \dfrac{\Phi_{son} - \Phi_{ilk}}{\Delta t}$ bağıntısı ile bulunur.

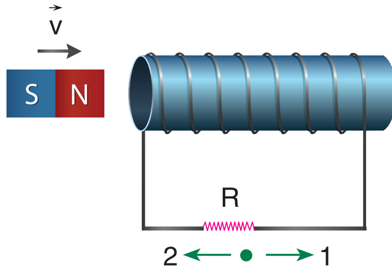
$$\varepsilon = -\frac{0,8 - 1}{5 \cdot 10^{-2}} = \frac{0,2}{5 \cdot 10^{-2}} = 4 \text{ V}$$

ç) Manyetik akı azalırken oluşan indüksiyon akımı bu akıyı artıracak yönde oluşur. Yani indüksiyon akımının oluşturacağı manyetik alanın yönü, dış manyetik alan ile aynı yönde olmalıdır. Buna göre sağ el kuralı uygulandığında indüksiyon akımının, halkanın K-L bölümünde 1 yönünde oluştuğu görülür.



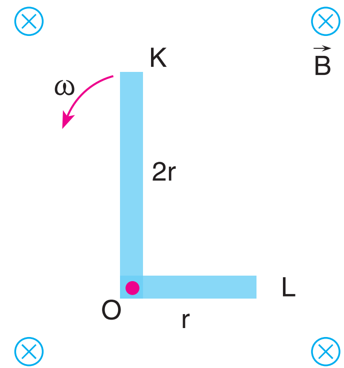
Sıra Sizde 2.20

Bir mıknatısın N kutbu akım makarasına şekildeki gibi yaklaştırılıyor. Makarada oluşan indüksiyon akımının, direnç üzerindeki yönünü bulunuz.



ÖRNEK 27

Uzunluğu 3r olan K-L iletken teli şekildeki 2r ve r uzunluğunda iki bölümden oluşacak şekilde katlanıyor. İletken sayfa düzleminden içe bir manyetik alanda saat ibresinin tersi yönünde ω açısal hızı dönerken O-K noktaları arasındaki indüksiyon emk'nin büyüklüğü 16 V oluyor. Buna göre K-L noktaları arasındaki potansiyel fark, V_{KL} kaç volt olur?



ÇÖZÜM

O-K noktaları arasındaki emk,

$$\varepsilon_{OK} = \frac{1}{2} \cdot B \cdot \omega \cdot (2r)^2 = 2B\omega r^2 = 16 \text{ V olur.}$$

O-L noktaları arasındaki emk ise

$$\varepsilon_{OL} = \frac{1}{2} \cdot B \cdot \omega \cdot r^2 = 4 \text{ V olur.}$$

Sağ el kuralına göre K ve L uçları her ikisi de – yükle yüklenir. O noktasının potansiyeli sıfır kabul edilirse

$$V_K = -16V, \; V_L = -4V \text{ ve}$$

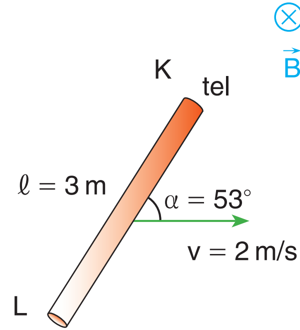
$$V_{KL} = V_L - V_K$$

$$= -4 - (-16)$$

$$= 12 \text{ V bulunur.}$$



Sıra Sizde 2.21

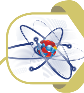


Boyu 3 m olan iletken tel şekildeki gibi sayfa düzleminden içe doğru $0,1 \text{ Wb/m}^2$ lik manyetik alan içinde 2 m/s'lik hızla hareket ettiriliyor. Buna göre;

a) Telin K ve L uçlarının işaretlerini,

b) Telin uçları arasında oluşan indüksiyon emk'nin büyüklüğünü bulunuz.

$(\sin 53^\circ = 0,8)$



Mini Performans

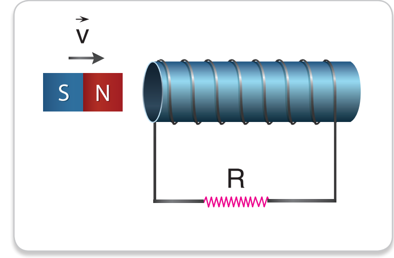
İndüksiyon akımının günlük yaşamımızda, sanayide ve teknolojideki kullanım alanlarını araştırınız.

Araştırmanızı görsel, video ve benzetimlerle zenginleştirerek sunu hazırlayınız. Sunuyu arkadaşlarınızla paylaşınız.

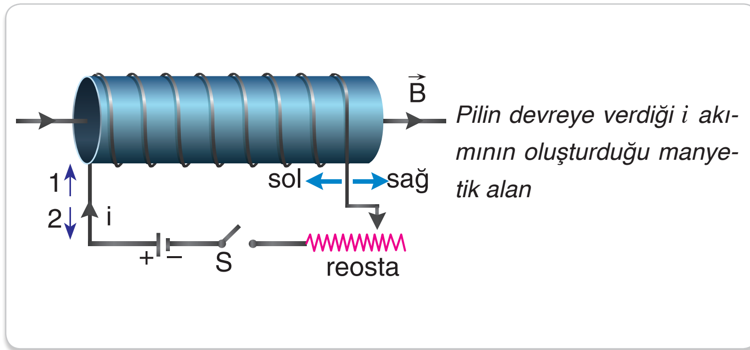
2.4.9. Öz-indüksiyon Akımı

Şekil 2.67'deki gibi bir devrede pil yoktur. Mıknatıs akım makarasına yaklaştırılıp uzaklaştırıldığında makaranın merkezindeki manyetik alan değiştiği için devrede indüksiyon akımı oluşur.

Şekil 2.68'de ise pil yardımı ile devreye yani akım makarasına akım verilebilir. S anahtarı açık iken devreden akım geçmez. Anahtar kapatıldığında ise pil, devreye 1 yönünde bir akım verir. Bu akımın oluşturduğu manyetik alanın yönü sağ el kuralı ile bulunur. Bu manyetik alanın yönü Şekil 2.68'deki gibi sağ tarafa doğrudur. Akım makarasının merkezindeki manyetik alanın



Şekil 2.67 Mıknatıs, akım makarasına yaklaşıp uzaklaştırılırsa indüksiyon akımı oluşur.



Şekil 2.68 *Anahtarın açılıp kapatılması, reosta sürgüsünün hareket ettirilmesi akım makarası üzerinde öz-indüksiyon akımı oluşturur.*

sıfırdan başlayarak artması manyetik akıyı da artırır. Manyetik akının artması, akım makarasının bir akım oluşturmasına neden olur. Devre akımının değişimi sırasında ortaya çıkan bu akıma **"öz-indüksiyon akımı"** denir. Lenz Kanunu'na göre bu akımın yönü manyetik akıyı azaltacak yönde olmalıdır. Devre akımının oluşturduğu manyetik alanın yönü sağ tarafa iken akım makarasında oluşan öz-indüksiyon akımının oluşturduğu manyetik alanın yönü sol tarafa doğru olmalıdır. Sağ el kuralı kullanılarak bu öz-indüksiyon akımının 2 yönünde olduğu bulunur.

Öz-indüksiyon akımı, anahtarın kapatılması anından itibaren devre akımına karşı koyacak yöndedir. Ancak bir süre sonra devredeki akım sabit bir değere ulaşır. Devreden geçen akımın sabit olması, akım makarasının merkezindeki manyetik alanın da sabit olması ve manyetik akıda değişim olmaması anlamına gelir. Manyetik akıda değişim olmadığından öz-indüksiyon akımı sona erer.

Devredeki reostanın sürgüsü sağ tarafa hareket ettirilirse devre direnci artar, devre akımı azalır. Bu sırada akım makarasının merkezindeki manyetik alan ve dolayısıyla manyetik akı

azalır. Lenz Kanunu'na göre azalan bu manyetik akıyı artırmak için akım makarası üzerinde bir öz-indüksiyon akımı oluşur. Bu öz-indüksiyon akımının oluşturacağı manyetik alan sağ tarafa doğru olmalıdır. Sağ el kuralı uygulanarak oluşan öz-indüksiyon akımının, 1 yönünde olduğu bulunur.

Devredeki reostanın sürgüsü sol tarafa hareket ettirilirse devre direnci azalır, devre akımı artar. Bu sırada akım makarasının merkezindeki manyetik alan ve dolayısıyla manyetik akı artar. Lenz Kanunu'na göre artan bu manyetik akıyı azaltmak için akım makarası üzerinde bir öz-indüksiyon akımı oluşur. Bu öz-indüksiyon akımının oluşturacağı manyetik alan sol tarafa doğru olmalıdır. Sağ el kuralı uygulanarak oluşan öz-indüksiyon akımının, 2 yönünde olduğu bulunur.

Devredeki akım sabit kaldığı sürece manyetik akıda bir değişim olmayacağı için öz-indüksiyon akımı da olmaz. O hâlde öz-indüksiyon akımının oluşmasının sebebi, devredeki akımın değişmesidir.

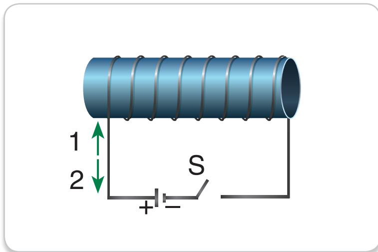
Devredeki akımın değişimi sırasında, akım makarası bir öz-indüksiyon akımı oluşturduğundan bu akımın oluşumu sırasında bir pil gibi davranır. Yani üzerinde bir indüksiyon emk oluşur. Devredeki akımın değişimi sonucu oluşan bu emk'ye **"öz-indüksiyon emk"** denir. Öz-indüksiyon emk:

1) Akım makarasının özelliklerinden kaynaklanan L öz-indüksiyon katsayısı ile doğru orantılıdır. Öz-indüksiyon katsayısının birimi Henry'dir (Henri).

2) Birim zamanda, devre akımında oluşan değişimle doğru orantılıdır. Birim zamanda, akımda meydana gelen değişim $\frac{\Delta i}{\Delta t}$ ile ifade edilir.

Bu durumda akım makarasının öz-indüksiyon emk'si;

$\varepsilon = -L \cdot \frac{\Delta i}{\Delta t}$ ile bulunur. Bu bağıntıdaki "–" işareti, oluşan öz-indüksiyon akımının kendisini oluşturan sebebe karşı koyacak yönde olmasından kaynaklanır.



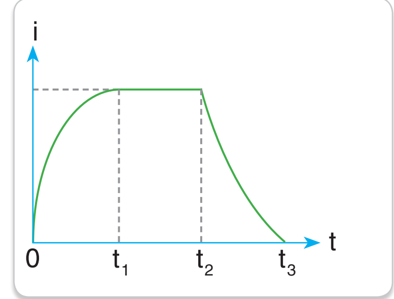
Şekil 2.69 *Devredeki anahtarın açılıp kapatılması ile öz-indüksiyon akımı oluşur.*

Şekil 2.69'daki gibi bir akım makarası, bir pil ve anahtardan oluşan devreyi inceleyelim. Anahtar açıkken herhangi bir akım olmadığından manyetik alan ve manyetik akı yoktur. $t = 0$ anında anahtar kapatıldığında devreden geçen akım 1 yönündedir ve oluşturacağı manyetik alan artarken manyetik akı da artar. Öz-indüksiyon akımı, devre akımına zıt yönde (2 yönünde) oluşur. Devredeki akım bir süre artar ve daha sonra sabit kalır. Devre-

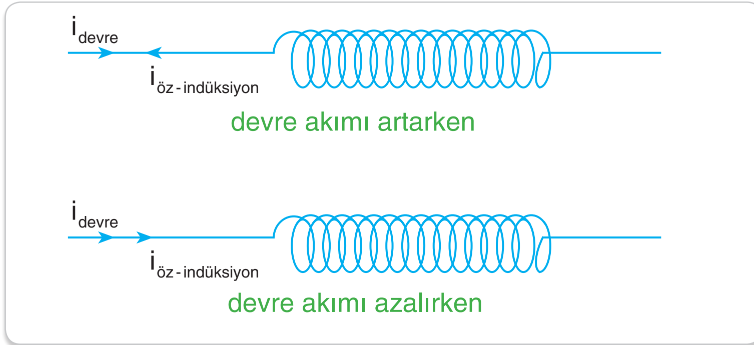
deki akımın sabit olduğu anı t_1 kabul edersek bu andan itibaren öz-indüksiyon akımı sona erer. t_2 anında devredeki S anahtarı tekrar açılırsa bu defa akım makarasının merkezindeki manyetik akı azalırken öz-indüksiyon akımı 1 yönünde oluşur. Pilin devreye akım vermediği bu andan itibaren devrede öz-indüksiyon akımı vardır. Ancak bu akım bir süre sonra sona erer.

Oluşan öz-indüksiyon akımının yönü, devre akımının yönüne ve artıp azalma durumuna göre değişir. Devre akımı artarken öz-indüksiyon akımı, devre akımına zıt yönde, devre akımı azalırken ise devre akımı ile aynı yönde oluşur. Bu durum Şekil 2.70'te gösterilmiştir.

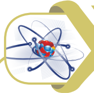
Devredeki anahtarın açılıp kapanması sırasında oluşan devre akımının zamana bağlı grafiği ise Grafik 2.1'de verilmiştir. Grafikte düşey eksenin öz-indüksiyon akımı değil, devre akımı olduğuna dikkat ediniz.



Grafik 2.1 *Anahtarın açılıp kapanması sonucu devrede oluşan öz-indüksiyon akımı nedeniyle devre akımının zamana göre değişim grafiği*



Şekil 2.70 *Oluşan öz-indüksiyon akımının yönü devre akımının artması ya da azalması ile ilgilidir.*



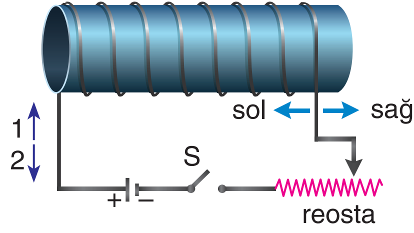
Mini Performans

Öz-indüksiyon akımının elektrik ve elektronik devre elemanları üzerindeki etkilerini araştırınız.

Araştırmanızı görsel, video ve benzetimlerle zenginleştirerek sunu hazırlayınız. Sunuyu arkadaşlarınızla paylaşınız.



Sıra Sizde 2.22



Şekildeki devrede

a) S anahtarının kapatılması ile,

b) Anahtar kapalı iken reosta sürgüsünün sağa doğru hareket ettirilmesi ile,

c) Anahtar kapalı iken reosta sürgüsünün sola doğru hareket ettirilmesi ile,

ç) Anahtarın açılması ile oluşan

öz-indüksiyon akımlarının yönlerini bulunuz.

2.4.10. Yüklü Parçacıkların Manyetik Alan ve Elektrik Alandaki Davranışları

2.3.3 ve 2.4.5 konularında yüklü parçacıkların elektrik alan ve manyetik alandaki davranışlarını ayrı ayrı öğrendik. Yüklü bir parçacık elektromıknatıssal (hem elektrik hem manyetik alanın birlikte var olduğu) alana girdiğinde parçacığa hem elektriksel hem de manyetik kuvvet etki eder. Parçacık bu iki kuvvetin oluşturduğu bileşke kuvvet etkisinde hareket eder. Bu bileşke kuvvet "**Lorentz Kuvveti**" olarak adlandırılır. Bu kuvvet; $\vec{F} = \vec{F}_e + \vec{F}_m$ olarak yazılabilir.

F_e: Elektriksel kuvvetin büyüklüğü olup $F_e = q \cdot E$ ile

F_m: Manyetik kuvvetin büyüklüğü olup $F_m = q \cdot v \cdot B \cdot \sin\alpha$ ile bulunur.

Yüklü parçacığın elektrik alan ve manyetik alandaki davranışları arasındaki temel farklar şu şekilde özetlenebilir:

1. Elektriksel kuvvet, elektrik alana paralel yönde etki ederken manyetik kuvvet manyetik alana dik etki eder.

2. Elektriksel kuvvet, yüklü parçacığın hızından bağımsız iken manyetik kuvvet yüklü parçacığın hızı ile orantılıdır.

3. Elektriksel kuvvetler parçacığın hızının büyükülğünü değiştirir ve iş yapar. Manyetik kuvvetler hızın büyüklüğünü değiştirmez ve iş yapmaz.

Yüklü parçacıkların hareketi ile akım oluşurken aynı zamanda elektromıknatıssal alandaki konumu belirlenebilir. Bu sayede zıt yüklü parçacıklar farklı yönlere saptırılarak yeni bir potansiyel fark oluşturulabilir. Lorentz kuvveti;

- Pozitif ve negatif yükleri ayırmada,
- Sıvı akış sensörü, basınç sensörü ve akım sensörü kullanılarak manyetik anahtarlar yapmada,
- Bazı GPS sistemlerde kullanılır.



Araştırma Görevi

Yukarıda Lorentz kuvveti etkisinin kullanıldığı bazı günlük olaylar verilmiştir. Siz de

1. Bu olayların dışında Lorentz kuvvetinin kullanıldığı başka olayları bulunuz.
2. Bu olaylardan birini seçerek sunu hazırlayınız.
3. Hazırladığınız sunuyu arkadaşlarınızla paylaşınız.
4. Farklı bir günlük olayda kullanmak için yapılabilecekleri arkadaşlarınızla tartışınız.
5. Tartışma esnasında ortaya çıkan fikirlerin ülke ekonomisine, sosyal hayata vb. durumlara etkisini de göz önüne alınız.

2.4.11. İndüksiyon Elektromotor Kuvvetini Etkileyen Faktörler

İndüksiyon Elektromotor Kuvveti

Manyetik alan kullanılarak farklı yollarla indüskiyon elektromotor kuvvet elde edilebilir. Günümüzde üretilen elektriğin büyük bir bölümü kapalı halkadaki manyetik akının değiştirilmesi ile elde edilmektedir. Bu şekilde elde edilen elektriğe ait elektromotor kuvvetin bağlı olduğu değişkenleri analiz etmek için

• *https://phet.colorado.edu/tr/simulation/legacy/faraday* adresine gidiniz.

• Yukarıdan "Jeneratör" bölümünü seçiniz.

• "Sarımı ayarla" bölümünden voltmetreyi seçiniz.

• Musluktan su çıkış hızını (dolayısıyla mıknatısın dönüş hızını), mıknatısın (manyetik) kuvvetini, sarım sayısını ve sarım alanını ayrı ayrı değiştirerek voltmetrede görülen değerlerdeki değişimleri not ediniz.

Aşağıdaki sorulara cevap vererek elektromotor kuvveti oluşturan ve büyüklüğünü etkileyen sebeplere ait çıkarımlarda bulununuz.

1. Mıknatısın kuvveti sıfır iken emk oluştu mu?

2. Mıknatıs kuvveti sıfırdan büyük ama mıknatıs dönmüyorken emk oluştu mu?

3. Mıknatıs kuvveti sıfırdan büyük iken;

• Mıknatıs dönüş hızı artarsa emk nasıl değişir?

• Mıknatıs dönüş hızı sabitken kuvveti artarsa emk nasıl değişir?

• Sarım sayısı artırılırsa emk nasıl değişir?

• Sarım alanı artırılırsa emk nasıl değişir?

Elektrik akımı etrafında manyetik alan oluşturur. Bunun tersi olarak manyetik alan kullanılarak da elektrik akımı elde edilir.

Yukarıdaki simülasyonda da görüldüğü gibi indüksiyon yolu ile elektromotor kuvvet elde etmek için manyetik alana ve kapalı bir halkaya ihtiyaç duyulur. Kapalı halkadan geçen manyetik akı değiştirilerek indüksiyon elektromotor kuvvet elde edilir. Olu-

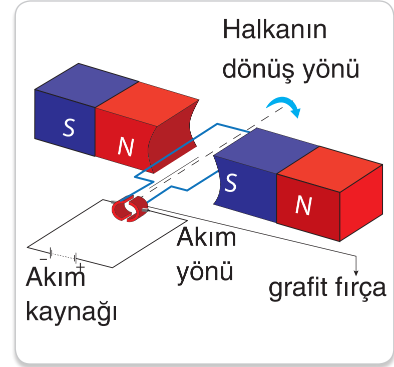
şan bu elektromotor kuvvetin büyüklüğü; manyetik alan şiddeti, sarım sayısı, halkanın alanı ve mıknatıs (ya da manyetik alan içindeki halkanın) frekansına (dolayısıyla açısal hızına) bağlıdır.

Elektrik Motoru

Şekil 2.71'de elektrik motorlarının temel prensibini yansıtan şematik bir şekil vardır. Bu elektrik motorunda güçlü bir mıknatıs, halka, halkaya akım veren akım kaynağı ve grafit fırça bulunmaktadır.

Akım kaynağının sağladığı akım, grafit fırça yardımı ile halkaya iletilir. Mıknatıs, motorun bulunduğu bölgede güçlü bir manyetik olan oluşturarak üzerinden akım geçen iletken telden yapılmış halka üzerinde güçlü bir manyetik kuvvet oluşturur. Bu manyetik kuvvet ise bir tork meydana getirir ve bu tork halkanın dönmesini sağlar. Yani elektrik motorunun dönmesini sağlayan olay; üzerinden akım geçen halkaya, manyetik alan içinde etki eden kuvvetler nedeniyle oluşan torktur.

Elektrik motoru devresinde bir de komütatör bulunur. Komütatör, devrenin açılıp kapanmasını ve devreden geçen akımın yönünün belirlenmesini sağlar. Devreden geçen akım kesildiğinde elektrik motoru dönmezken, akımın yönü ters çevrildiğinde motorun dönme yönü de tersine döner.



Şekil 2.71 *Elektrik motorunun çalışma prensibinin temelinde, manyetik alan içinde üzerinden akım geçen halkaya etki eden tork vardır.*



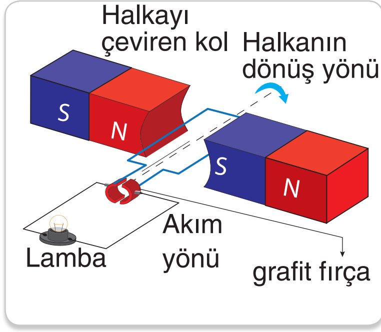
Araştırma Görevi

Günlük hayatımızda elektrik motoru içeren birçok elektrikli veya elektronik alet kullanmaktayız.

a) Elektrik motorunun kullanım alanlarını ve elektrik motorunun kullanıldığı aletleri, oyuncakları araştırınız.

b) Satın aldığınız, artık kullanmayı düşünmediğiniz bir eşyanın, oyuncağın elektrik motorunu ya da laboratuvardaki elektrik motoru modelini inceleyiniz. Bu motor üzerindeki parçalarını belirtiniz.

c) Komütatör kullanılarak akımın yönünün değiştirilmesinin pratikte sağlayacağı faydaları, günlük hayatta kullanılan elektrikli veya elektronik aletler üzerinden açıklayınız.



***Şekil 2.72** Dinamonun çalışma prensibinin temelinde, manyetik alan içindeki halkanın döndürülerek manyetik akının değiştirilmesi vardır.*

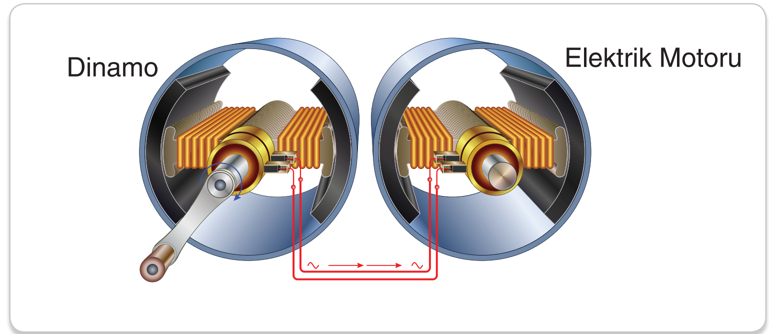
Dinamo

Şekil 2.72'deki gibi bir dinamo ile elektrik motoru arasında çok büyük bir benzerlik vardır. Dinamolar temel olarak güçlü bir mıknatıs, halka, halkayı döndürmeye yarayan bir düzenekten oluşur.

Bir kol vasıtasıyla ya da dönmeyi sağlayacak herhangi bir düzenekle halka, mıknatıs tarafından oluşturulmuş bir manyetik alan içerisinde döndürüldüğünde halkanın içinden geçen manyetik akı değişir. Bu değişiklik halkayı oluşturan iletken tel üzerinde bir akım meydana getirir. Oluşan bu akımın yönü indüksiyon akımı konusunda öğrendiğiniz şekilde bulunur. Dinamonun oluşturduğu bu akım, devredeki lambanın ışık vermesini sağlar.

Mekanik enerjiden elektrik akımı elde etmeye yarayan düzeneklere **"jeneratör"** denir. Doğru akım elde etmek için kullanılan jeneratörlere **"dinamo"**, alternatif akım elde etmek için kullanılan jeneratörlere **"alternatör"** denir.

Şekil 2.72'deki jeneratör, doğru akım elde eden bir dinamodur.



***Şekil 2.73** Dinamodan elde edilen elektrik akımı motora aktarılırsa, motor dönme hareketi yapar.*

Elektrik motorları, devreye verilen elektrik akımını kullanarak dönme hareketinin elde edilmesini sağlar. Dinamolar ise dönme hareketini kullanarak elektrik elde edilmesini sağlar. Yani elektrik motorları, elektrik enerjisini mekanik enerjiye; dinamolar, mekanik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştüren düzeneklerdir. Şekil 2.73'te birbirine bağlı bir dinamo ve bir elektrik motoru görülmektedir. Dinamoda mekanik enerjiden elde edilen elektrik enerjisi, elektrik motoruna aktarıldığında motor dönme hareketi yapar ve elektrik enerjisi tekrar mekanik enerjiye dönüştürülür.



Okuma Parçası

İLK DİNAMO

1821'de Faraday, elektrik ve manyetizma ile ilgili ilk deneylerini yapıyordu. Bir elektrik akımının, bir mıknatısın, bu akımı taşıyan tel etrafında dönmesine sebep olduğunu veya akım geçirilen bir telin sabit bir mıknatıs etrafında döndüğünü göstermişti. Bundan sonraki on yıl, manyetik kuvvetleri elektrik gücüne çevirmek için yapılan deneyler ve diğer araştırmacı ve bilim adamlarının bu konuda çalışmalarını incelemekle geçti.

1821-1831 yılları arasında manyetizmadan elektrik elde etme konusunda 4 başarısız deney yapmış, hiç bir sonuca ulaşamamıştır.

Ancak 1831 yılının Kasım ayında yaptığı 5. deney bilim dünyasında yeni bir çığır açmıştır. İletken bir tel manyetik alana dik olarak hareket ettirildiğinde elektromotor kuvvetin oluştuğunu gösterdi. Eğer söz konusu tel, bir kapalı devrenin parçası ise, aynı şekilde hareket ettirilmesi indüksiyon yolu ile elde edilmiş akım oluşumu şeklinde sonuçlanmaktaydı. Bundan sonra, manyetik bir alan (büyük bir at nalı mıknatısının kutupları arasında) ortasında dönen bakır kurs deneyini yaptı. Kurs döndüğü sürece, elektrik oluşturulduğunu ve dönme yönü değiştirildiğince, elektrik akımının da yön değiştirdiğni buldu. Bir manyetik alanın kutupları arasında dönen bu kurs, gerçekte ilkel bir dinamo idi. Böylece, Faraday, elektriğin ticari ve pratik amaçlar için için kullanılmasına da öncülük yapmıştır.



Araştırma Görevi

a) Jeneratörlerin kullanım alanlarını ve kullanıldığı yapıları araştırınız.

b) Jeneratörlerde halkanın dönmesini sağlayan düzenekleri ve bir araba motorunun dinamoya nasıl dönüştürülebileceğini araştırınız.

c) Bisiklet tekerine bağlanan bir dinamoyu ya da laboratuvardaki dinamo modelini inceleyiniz. Bu dinamo üzerindeki parçaları belirtiniz.

ç) Rüzgâr santralleri, hidroelektrik santralleri vb. elektrik üretim merkezlerindeki üretim aşamalarını araştırınız.



2. ÜNİTE: 4. BÖLÜM DEĞERLENDİRME SORULARI

A. Aşağıdaki cümlelerde boş bırakılan yerleri uygun kelimeleri kullanarak tamamlayınız.

emk | indüksiyon | öz-indüksiyon | manyetik akı | zıt | indüksiyon emk | iş

1. Yüklü parçacık, düzgün manyetik alana dik olarak girdiğinde .... yapılmaz.
2. Akım makarasına bağlı üretecin devreye verdiği akım değiştirilirse .... akımı oluşur.
3. Bir halkadan geçen .... değişirse .... akımı oluşur.
4. Manyetik alana giren “+” ve “–” yüklü iki parçacığın dönüş yönleri .... olur.
5. Manyetik alan içindeki halkanın dönüş hızı artırılırsa oluşan .... büyüklüğü artar.

B. Aşağıdaki cümlelerin başına doğru ise “D”, yanlış ise “Y” yazınız.

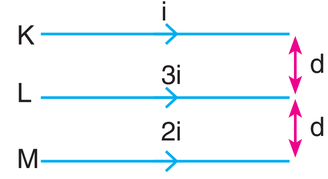
1. ( ) Üzerinden akım geçen bir akım makarası mıknatıs gibi davranır.
2. ( ) Manyetik alana dik giren yüklü bir parçacığın yalnızca yükü artırılırsa yaptığı dairesel hareketin yarıçapı da artar.
3. ( ) Aynı yönlü akım taşıyan, birbirine paralel iki iletken tel birbirini iter.
4. ( ) Manyetik alan skaler bir büyüklüktür.
5. ( ) Manyetik alan çizgileri ile halka yüzeyinin normali paralel olduğu anda manyetik akı en büyüktür.

C. Aşağıda verilen soruları cevaplayınız.

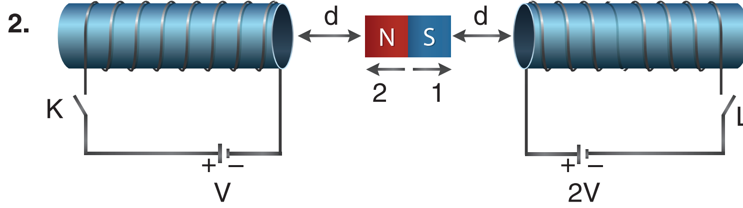
1. İndüksiyon akımı ve öz-indüksiyon akımı nedir? Aralarındaki benzerlikler ve farklılıklar nelerdir?
2. Manyetik akı nedir? Manyetik akıyı etkileyen faktörler nelerdir?
3. İndüksiyon yolu ile elektrik akımı elde etmenin yolları nelerdir?
4. Elektrik motorunun ve dinamonun çalışma prensiplerini açıklayınız.
5. Manyetik alana giren yüklü parçacığın üzerine etki eden manyetik kuvvetin ve parçacığın yaptığı dairesel hareketin yönünün nasıl bulunduğunu açıklayınız.

Ç. Aşağıdaki problemleri çözünüz.

1. K, L, M iletkenlerinden geçen akımlar sırasıyla i, 3i ve 2i olup L ye etkiyen net elektriksel kuvvet $\vec{F}$ kadardır. M telindeki akımın büyüklüğü değiştirilmeden yalnızca yönü değiştirilirse L ye etki eden net elektriksel kuvvetin büyüklüğü kaç $\vec{F}$ olur?



2.



Özdeş iki akım makarası şekildeki gibi V ve 2V potansiyeline sahip üreteçlere bağlanıyor. İki akım makarasının tam ortasına konulan ve serbestçe hareket edebilen mıknatısın;

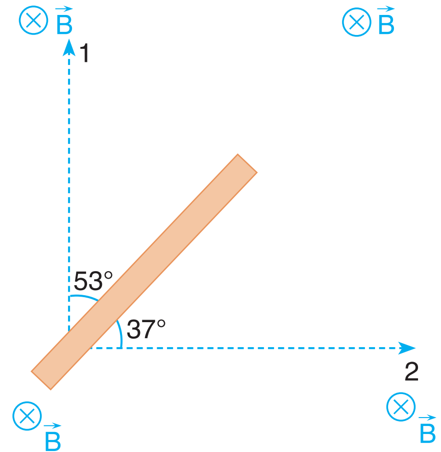
a) Yalnız K anahtarının kapatılması ile,

b) Yalnız L anahtarının kapatılması ile,

c) Her iki anahtarın kapatılması ile hangi yönde hareket edeceğini bulunuz.

D. Aşağıdaki test sorularını çözünüz.

1. ℓ uzunluğundaki iletken tel $\vec{B}$ manyetik alanı içinde 1 yönünde 3v hızı ile hareket ettiğinde uçları arasındaki potansiyel fark ε_1, 2 yönünde 4v hızı ile hareket ettiğinde ise ε_2 oluyor. Buna göre $\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2}$ oranı kaçtır?
$(\sin 37° = 0,6; \sin 53° = 0,8)$



A) $\frac{3}{5}$ **B)** $\frac{3}{4}$ **C)** 1

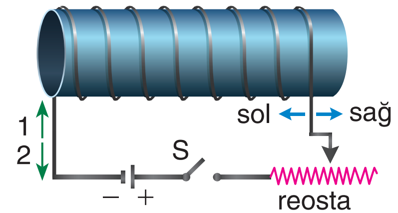
D) $\frac{9}{16}$ **E)** $\frac{4}{5}$

2. Şekildeki devrede öz-indüksiyon akımı ile ilgili aşağıdaki ifadelerinden hangileri doğrudur?

I. Anahtar kapatıldığı anda 1 yönündedir.

II. Anahtar kapalı iken reosta sola doğru hareket ettirilirse 2 yönündedir.

III. Büyüklüğü reosta sürgüsünün hareket etme hızına bağlıdır.



A) Yalnız I **B)** I ve II **C)** II ve III **D)** I ve III **E)** I, II ve III

2.5. ALTERNATİF AKIM

Bu bölümde;

- Alternatif akımı,
- Alternatif akım ile doğru akım arasındaki benzerlik ve farklılıkları,
- Alternatif akımın etkin ve maksimum değerlerini birbiri ile ilişkilendirmeyi,
- Alternatif akım ile doğru akımın avantajlarını ve dezavantajlarını,
- Alternatif akım devrelerinde devre direncini etkileyen değişkenleri,
- İndüktans, kapasitans ve empedans kavramlarını,
- Alternatif ve doğru akım devrelerinde akım makarası ve sığacın davranışını,
- Bir alternatif akım devresinin rezonans hâlini

öğreneceğiz.

Kavramlar

- Alternatif akım
- Etkin gerilim
- Etkin akım
- İndüktans
- Kapasitans
- Empedans
- Rezonans

ZAMANIN ÖTESİNDEKİ DEHA

Günümüzde elektrik santrallerinde üretilen elektrik, şehirlere oradan da ihtiyaç duyulan her noktaya gelebilmektedir. Evlerinizde elektrik, bir priz ya da bir düğme kadar yakındır. Elektriğin bugünkü kullanılabilir durumuna gelmesi birçok bilim insanının çabalarıyla olmuştur. Elektrik akımının iletilmesi ve taşınmasında Edison, yönü ve şiddeti değişmeyen doğru akımın; Tesla ise yönü ve şiddeti sürekli değişen alternatif akımın kullanılması gerektiğini savunuyorlardı. Bir dönem beraber çalışmalarına rağmen aralarındaki fikir ayrılığından dolayı bir süre sonra yolları ayrılmıştır. Bu aynı zamanda "Akımlar Savaşı"nın da başlangıcı olmuştur.

1893 yılında, Amerika kıtasının keşfinin 400. yılı onuruna düzenlenen Chicago (Şikago) Dünya Fuarı'nın ışıklandırmasını Tesla, yaklaşık 96000 ampulle yaptı. Fuarın açıldığı günün akşamında fuarın ışıkları aynı anda açıldı ve binlerce ampul fuar alanını aydınlattı. Tesla, bu aydınlatmayı yapmak için alternatif akım jeneratörleri kullandı. Elinde tuttuğu kablosuz ampulleri vücudundan geçirdiği elektrikle yaktı ve kendi adını verdiği akım makaraları ile kıvılcımlar oluşturup seyircilere doğru attı. Fuar alanındaki başarılı aydınlatma ve yapılan gösterilerle Tesla'nın alternatif akım fikri galip geldi. Böylelikle akımlar savaşı sonlandırıldı.

Tesla: "Kablosuz iletişim teknolojileri Dünya'mıza tamamen uygulandığında Dünya her bir parçasına dinamik tepki verebilen yekpare bir beyin hâline gelecektir." demiştir. Söylediği bu sözler o zaman tam olarak anlaşılamamış ve aklından şüphe edilmiştir. Oysaki Tesla'nın bu fikri, bugünkü teknolojide kullanılan kablosuz iletişim ve akıllı şehir teknolojileridir.

Tesla 7 Ocak 1943 tarihinde hayata veda ettiğinde farklı ülkelerde üç yüze yakın patenti bulunmaktaydı.

2.5.1. Alternatif Akım

Potansiyelleri farklı iki nokta arasında, potansiyel farkı sıfır oluncaya kadar yük akışı olur. Pil, akü veya dinamo gibi enerji kaynaklarının ürettikleri akımın zamanla yönünün ve şiddetinin değişmediğini ve bu akıma doğru akım denildiğini biliyorsunuz. Doğru akım DC (Direct Current) sembolüyle ifade edilir.

Günümüz teknolojisinde ise kullanılan aletlerin birçoğu yönü ve şiddeti sürekli ve düzenli olarak değişen bir akımla çalıştırılmaktadır. Şehir elektriğine bağlı bir prizin verdiği akım kısa zaman aralıklarıyla yön değiştirir. Akım şiddeti ise sıfırdan belirli bir değere kadar yükseldikten sonra tekrar azalarak sıfır olur ve yönünü değiştirip ters yönde akmaya başlar. Kısa bir süre sonra tekrar yükselir ve bu döngü böyle devam eder. Zamana bağlı olarak yön ve şiddet değiştiren bu akıma alternatif akım denir ve AC (Alternating Current) sembolüyle ifade edilir.

Jeneratörler mekanik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürür. Doğru akım sağlayan jeneratörlere dinamo, alternatif akım sağlayan jeneratörlere ise alternatör denildiğini anımsayınız (Görsel 2.26).

Alternatif akım jeneratörü en basit şekliyle manyetik alan içinde dönen bir tel çerçeveden oluşur. Şekil 2.74'te görülen tel çerçeve manyetik alan içinde, ω açısal hızıyla döndürüldükçe çerçeveden geçen manyetik akı zamanla değişir ve bu tel çerçevede bir emk oluşturur. İndüksiyon yoluyla oluşan bu emk'nin

$\varepsilon = -\dfrac{\Delta \Phi}{\Delta t}$ olduğunu biliyorsunuz.

Manyetik akının zamana bağlı değişiminden oluşan indüksiyon emk'nin herhangi bir t anındaki değeri,

$\varepsilon = N \cdot B \cdot A \cdot \omega \cdot \sin(\omega t)$ bağıntısı ile bulunur.

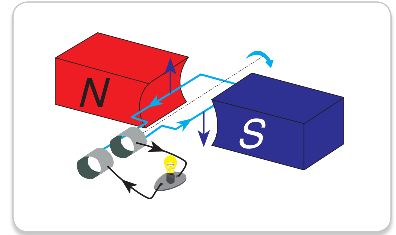
Bu bağıntı emk'nin zamanla sinüs fonksiyonu gibi değiştiğini göstermektedir. Manyetik alan, tel çerçeve düzlemine Şekil 2.75'teki gibi paralel olduğunda $\theta = \omega t = 0°$ veya $180°$ olduğu anda $\sin(\omega t) = 0$ olur.

Manyetik alanın, tel çerçeve düzlemine dik olduğu anda, $\theta = \omega t = 90°$ veya $270°$ olduğu anda $\sin(\omega t) = 1$ olur ve emk maksimum değerini alır. $\varepsilon = \varepsilon_m = NBA\omega$ olur. İndüksiyon emk'nin herhangi bir t anında değeri,

$\varepsilon = \varepsilon_m \cdot \sin(\omega t)$ dir.



Görsel 2.26 *Alternatif akım üreten alternatör*



Şekil 2.74 *Alternatif akım jeneratörü*



Şekil 2.75 *Manyetik alan, tel çerçeve düzlemine paralel olduğu yani $\theta = \omega t = 0°$ veya 180° olduğu anda indüksiyon emk minumum değerini alır.*

Bu şekilde elde edilen emk, R dirençli bir devreye akım verirse devreden geçen akım şiddeti Ohm Kanunu ile bulunur. Buna göre

$\varepsilon = i \cdot R$

$\varepsilon = \varepsilon_m \cdot \sin(\omega t)$ bağıntısına göre devreden geçen akım,

$i = \dfrac{\varepsilon_m \cdot \sin(\omega t)}{R}$ olur.

$i_m = \dfrac{\varepsilon_m}{R}$ ise

$i = i_m \cdot \sin(\omega t)$ olur.

Yazılan bağıntılardaki i alternatif akımın anlık şiddetini, i_m ise alternatif akımın maksimum akım şiddetini gösterir.

Üzerinden i akımı geçen R direncinin uçları arasında oluşan V alternatif gerilimi Ohm Kanunu'na göre

$V = i \cdot R = i_m \cdot \sin(\omega t) \cdot R$ olur.

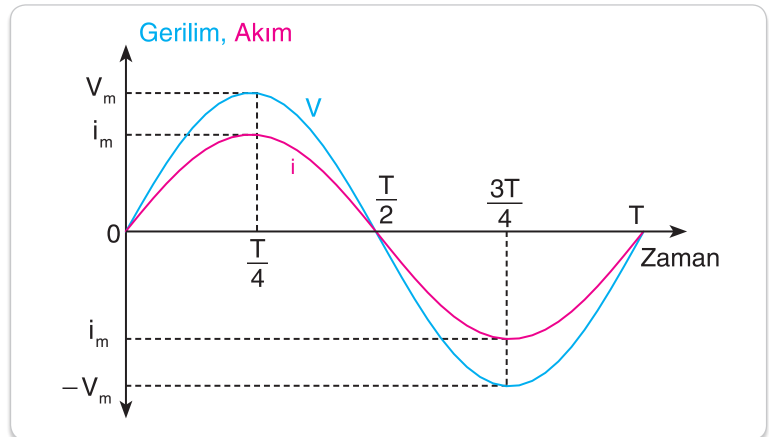
Daha önceki bağıntılarda bulunan maksimum emk,

$V_m = i_m \cdot R$ ifadesi kullanıldığında

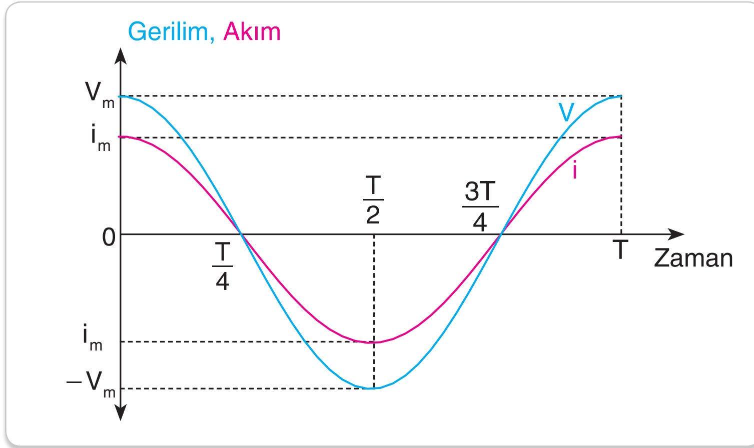
$V = V_m \cdot \sin(\omega t)$ bulunur.

Alternatif akım ve gerilim, zamanın sinüs ya da kosinüs fonksiyonları şeklinde olabilir. Bu durumu belirleyen etken alternatif akım üretiminde kullanılan halkanın ya da iletken çerçevenin harekete başladığı andaki konumu ile ilgilidir.

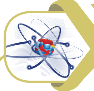
Şekil 2.75'teki tel çerçevenin T sürede bir tam tur dönmesi durumunda oluşan alternatif gerilimin ve akımın zamana bağlı grafikleri Grafik 2.2 ve Grafik 2.3'teki gibidir.



Grafik 2.2 *Alternatif akımın ve gerilimin zamana bağlı değişim grafiği (sinüs fonksiyonu)*



Grafik 2.3 *Alternatif akımın ve gerilimin zamana bağlı değişim grafiği (kosinüs fonksiyonu)*



Mini Performans

Cep telefonu bataryalarının yüklenmesinde alternatif akım kullanılır mı? Araştırınız.

Dünyada Alternatif Akım Frekansları ve Gerilimleri

Elektrik dağıtım şebekeleri elektriği iletim hattından kullanılacağı son noktaya kadar ulaştırır. 19. yüzyılın sonları ve 20. yüzyılın başlarında ticari elektrik güç sistemlerinin gelişimi sırasında birçok farklı frekans değeri kullanılmıştır. Örneğin 1918 yılında Londra' da 10 farklı frekans değeri kullanılıyordu. Alternatif akımın kullanılmaya başlanmasından sonra elektrik üretimi ve dağıtımında kayıpların daha az olduğu frekans ve gerilim değerleri saptanmaya çalışılmıştır. Amerika'da ilk kullanılan gerilim değeri 110 V olmuştur. Daha sonra yapılan çalışmalarla en uygun gerilim değerinin 220 V ve frekansın da 50 Hz olduğu bulunmuştur. Avrupa ve daha sonradan alternatif akım kullanımına geçen bölgelerde bu değerler tercih edilmiştir. Alternatif gerilimin 110 V olarak kullanıldığı tesislere sahip Amerika ve bazı bölgelerde, bu tesislerin 220 V'la kullanılır duruma getirilmesi yüksek maliyetlere neden olacağından bu bölgelerde kullanılan 110 V değeri korunmuştur. Günümüzde elektrik dağıtım sistemlerinde kullanılan motorların, transformatörlerin, jeneratörlerin, taşıma hatlarının türleri ve özellikleri de alternatif akımın frekans ve gerilim değerlerinin farklı olmasında rol oynamaktadır.

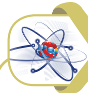
20. yüzyılın ortalarında alternatif akımın frekans değerleri standartlaşmaya başlamıştır.

Bugün yaygın olarak 50 Hz ve 60 Hz kullanılmaktadır. Avrupa ülkelerinde genellikle 50 Hz, Amerika'da ve Asya'nın bir bölümünde 60 Hz kullanılmaktadır. Ülkemizde kullanılan alternatif akımın frekans ve gerilim değeri 50 Hz ve 220 V'tur.

Bazı ülkelerde kullanılan alternatif akımın frekans ve gerilim değerleri Tablo 2.9'da verilmiştir.

Tablo 2.9 *Bazı ülkelerde kullanılan alternatif akım frekans ve gerilim değerleri*

Ülke	Gerilim (V)	Frekans(Hz)
Almanya	230-400	50
Yunanistan	220	50
Arjantin	220	50
Avustralya	240	50
Çin	220	50
Danimarka	220	50
İtalya	220	50
Fransa	230	50
Bulgaristan	220	50
Hindistan	220-250	50
Ekvator	110-220	60
Filipinler	110	60
Japonya	220	50-60
Kıbrıs	240	50
Türkiye	220	50

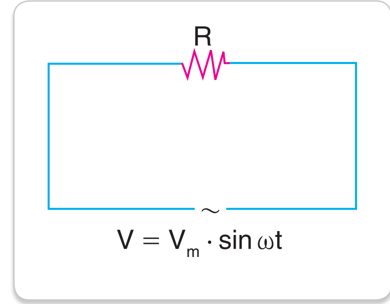


Mini Performans

Yukarıdaki tabloda farklı ülkelerde kullanılan frekans ve gerilim değerleri verilmiştir. Bu değerlerin farklı olmasının nedenlerini araştırıp sınıfta arkadaşlarınızla tartışınız.

2.5.2. Alternatif Akım ve Doğru Akım

Doğru akımın ve alternatif akımın bir iletken üzerindeki elektronların hareketleri sonucu oluştuğunu biliyorsunuz. Alternatif akım ve doğru akım arasındaki en temel fark akımın yönüdür. Doğru akımda akım daima aynı yönde iken alternatif akımda ise kısa aralıklarla periyodik olarak yön değiştirir. Doğru akımın şiddeti ve gerilimi sabit kalırken alternatif akımın şiddeti ve gerilimi düzgün bir şekilde sürekli olarak artıp azalır.



Şekil 2.76 *Alternatif akım kaynağına bağlı direnç*

Günlük hayatta kullanılan cihazların bazıları alternatif akım kaynaklarıyla bazıları ise doğru akım kaynakları ile çalıştırılabilmektedir. Şehir şebekesinin olduğu evlerde ve iş yerlerinde alternatif akım kullanırız (Şekil 2.76). Buzdolabı, çamaşır makinesi, bulaşık makinesi direk alternatif akımla çalışmalarına rağmen, alternatif akım televizyon, radyo, uydu alıcısı gibi çoğu elektronik cihazı çalıştırmaya uygun değildir. Bu tür cihazlarda prizden gelen alternatif akımı doğru akıma çeviren ve doğrultucu olarak isimlendirilen devreler bulunur. Cep telefonu, dizüstü bilgisayar gibi cihazlarda kullanılan dönüştürücülere ise adaptör denir (Görsel 2.27 ve Görsel 2.28).

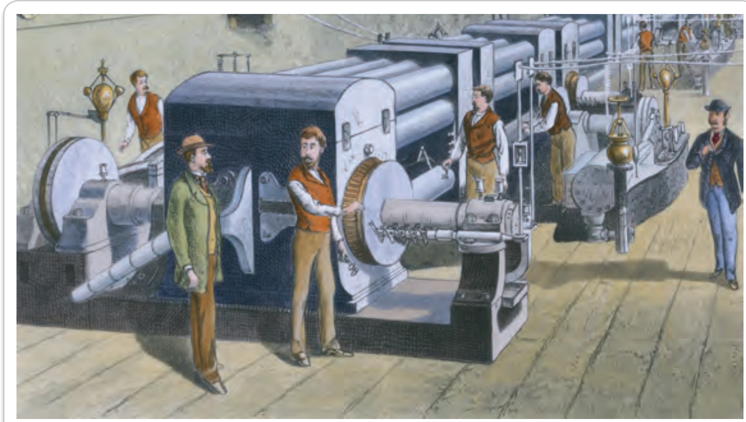


Görsel 2.27 *Adaptör*



Görsel 2.28 *Adaptör*

Bunun yanı sıra cihazların ihtiyaç duydukları gerilim büyüklükleri de farklıdır. Örneğin bir radyonun çalışması için gerilim büyüklüğünün 220 V'tan radyo için gerekli olan gerilim değerine düşürülmesi gerekir. Bunun için alternatif gerilim büyüklüğünde değişim yapılmasını sağlayan transformatörler kullanılır.



Görsel 2.29 *Edison'un ilk elektrikle aydınlatma istasyonunun temsilî resmi*

Hidroelektrik, termik veya nükleer santrallerde üretilen elektriğin uzak mesafelere iletilmesinde ve taşınmasında doğru akım enerji kayıpları, alternatif akıma göre çok daha fazladır.

Daha önceki fizik derslerinizden Thomas Edison'ın (Tomıs Edısın) akkor flamanlı ampulü icat ettiğini biliyorsunuz. Edison, lambada kullanılacak en uygun flaman maddesinin seçimi için yüzlerce deney yaptı ve karbon flamanlı akkor lamba için patent başvurusunda bulundu. Ancak patenti Joseph Swan (Cozıf Sıven) isminde bir kimyager aldı. Daha sonra Edison ve Swan "Ediswan" ismindeki ilk aydınlatma şirketini kurdular.

Edison 1882 yılında tarihte ilk güç istasyonu olarak nitelendirilebilecek doğru akım güç istasyonunu New York'ta (Niv York) kurdu (Görsel 2.29).

O dönemde kullanılan ve 110 V'luk potansiyel farkıyla çalışan akkor ampuller, elektrik üretimi yapılan santrale yaklaşık 1,6 km'den daha uzak olduklarında, güç kaybı nedeniyle sönük yanıyordu. Bunun nedeni elektriğin taşınması sırasında oluşan enerji kayıplarıdır.

Elektrik akımı geçen bir iletkende ısı olarak açığa çıkan yani kaybedilen enerjinin $E = i^2 \cdot R \cdot t$ olduğunu biliyorsunuz. Bağıntıya göre kaybedilen enerji devreden geçen akımın karesiyle orantılıdır. Elektrik akımı iletken tellerde taşınır. Buna göre elektriğin uzak mesafelere taşınması sırasında düşük akımlı ve yüksek gerilimli sistemlerin kullanılması kayıpları azaltacaktır. Bu durum hem AC hem de DC sistemlerinde geçerlidir.

Yüksek gerilimli elektriğin taşındığı sistemlerde, elektrik kullanıcılara ulaştığında düşürülmelidir. DC sistemlerde gerilimin değiştirilmesi çok zordur ve maliyeti yüksektir. Bu nedenle Edison'ın DC sisteminde üretilen elektrik, santralden kullanıcıya gidene kadar aynı büyüklükte gerilimle iletiliyordu ve taşınma sırasında çok büyük enerji kayıpları oluşuyordu. Edison santralden çıkan elektriği kısa mesafelere taşıyarak kayıpları azaltmaya çalışmıştır. Bunun için de yaklaşık 2 km'de bir santral kurması gerekmekteydi.

Nikola Tesla (Nikola Tesla), bu kayıpları en aza indirmenin alternatif akımla mümkün olduğunu düşünüyordu. Elektriği çok daha az kayıpla taşımak, Tesla'nın geliştirdiği transformatörler ile mümkündü. Yüksek gerilimli AC sistemlerinde transforma-

törlerle istenilen gerilim büyüklüğü kolaylıkla elde edilebiliyor ve böylelikle elektrik çok uzak mesafelere az kayıplarla taşınabiliyordu. DC ile çalışan pek çok araç geliştiren ve bu konuda çok çaba harcayan ve yatırım yapan Edison ise alternatif akımı savunan Tesla ile aynı fikirde değildi. Tesla alternatif akım jeneratörünü bulduktan sonra 1895 yılında alternatif akım üreten ilk jeneratör Niagara Şelalesi'ne kuruldu (Görsel 2.30). Bu olaydan sonra, elektrik üretimi, iletimi ve taşınmasında alternatif akım kullanılmaya başlanmıştır.



Görsel 2.30 *Niagara Şelalesi hidroelektrik santrali*

Günlük hayatta kullanılan metro, tramvay gibi elektrikli taşıtlarda, düşük gerilimle çalışan elektronik devrelerde, televizyonlarda, radyolarda, pillerde ve telefonlarda doğru akım kullanılmaktadır. Güneş enerjisi sistemlerinde kullanılan güneş pillerinden sadece doğru akım elde edilebilmektedir.

Elektroliz olayında sadece doğru akım kullanılır. Bunun nedeni alternatif akımın sürekli yön değiştirmesiyle, anodun ve katodun da sürekli değişiyor olmasıdır. Bu durumda elektrotlardan herhangi birinde madde toplanamaz.

Alternatif akım bataryalarda kullanılamaz. Grafik 2.2'de görüldüğü gibi her bir akım ve gerilim değerinin "+" ve "–" işaretli olması, alternatif akımın ve gerilimin, bir periyotluk süredeki ortalama değerinin sıfır olmasına sebep olur. Bu nedenden, bataryada depolanan yük sonuçta sıfır olur ve bataryalar doldurulamaz.

Doğru akımın tercih edildiği veya kullanılmasının gerekli olduğu bu gibi yerlerde, doğru akım genellikle, alternatif akımın doğru akıma çevrilmesi ile elde edilir. Alternatif akımı doğru akıma çevirmek

için kullanılan elektriksel devreye **doğrultucu**, dönüştürme işlemine de **doğrultma** denir.

Doğru akım geçen bir telden manyetik alan oluştuğunu ve bu tele yaklaştırılan bir pusulanın saptığını 4. bölümdeki etkinliklerde gözlemlemiştiniz. Pusulanın sapmasının sebebinin, telin etrafında oluşan manyetik alan olduğunu biliyorsunuz. Aynı telden alternatif akım geçirildiğinde ise akım yönü sürekli değişeceğinden oluşturduğu manyetik alan da sürekli değişecektir. Böyle bir tele pusula yaklaştırıldığında ise pusuladaki sapma net olmaz. Bu nedenle alternatif akımlar, pusula veya dönen makaralı ölçü aletlerine etki yapmaz ve bu aletler ile ölçülemez.

Alternatif akım, ısıtma ve aydınlatma alanlarında doğru akım yerine kullanılabilir. Üzerinden alternatif akım geçen R dirençli bir tel ısınır. Alternatif akımın şiddeti sürekli olarak değiştiği için direnç üzerinde açığa çıkan ısı enerjisi de değişir. Ülkemizde alternatif akımın şebeke frekansı 50 Hz' dir. Bu da akımın 1 saniyelik zaman içerisinde 100 defa maksimum değerde, 100 defa da sıfır olması anlamına gelir. Akımın geçtiği iletkenden yayılan ısı enerjisi de aynı şekilde değişir. Isının bu kadar hızlı değişmesi ısıtma ve aydınlatma alanlarında herhangi bir probleme sebep olmaz.

Günümüzde alternatif akım jeneratörlerinin verimleri %95'in üzerinde ve güçleri doğru akım jeneratörlerine göre daha büyüktür.

Bugün kullanılan elektrik enerjisinin %90'ından fazlası alternatif akım olarak üretilmektedir. Elektrik enerjisinin taşınması yüksek gerilimli alternatif akımlarla yapılmakta ve transformatörlerle istenilen büyüklüğe dönüştürülmektedir.



Okuma Parçası

TÜRKİYE'DE ELEKTRİĞİN İLK KULLANIMI

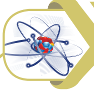
Türkiye'de elektriğin ilk nerede kullanıldığı sorusu ilk anda İstanbul'u akla getiriyor. Ancak doğru yanıt İstanbul değil, Tarsus'tur.Türkiye'nin elektrikle buluşması, 15 Eylül 1902 tarihinde İçel'in Tarsus ilçesinde gerçekleşti. Bundan tam 12 yıl sonra, 14 Şubat 1914 tarihinde ise İstanbul elektriğin ışıltısıyla tanıştı.

Türkiye'de elektrik enerjisi ilk kez 1902 yılında İçel'in Tarsus ilçesinde kurulan bir hidroelektrik santraliyle üretilmeye ve kullanılmaya başlandı. O dönemde Tarsus Belediyesinde çalışan Avusturyalı Dörfler (Dörfler) tarafından, Berdan Nehri Bentbaşı mevkiinde kurulan hidroelektrik santrali, transmisyon kayışı ile 2 kW'lık bir dinamoyu çevirerek buradan elde edilen elektrik enerjisini Tarsus'a vermeye başladı.

Tarsus Ticaret ve Sanayi Odasınca yayımlanan "Tarsus Tarihi ve Eshab-ı Kehf" adlı kitapta yer alan bilgilere göre üretilen elektrik enerjisi ile ilk zamanlar Tarsus'un sokakları aydınlatıldı. Elektrikle aydınlanan ilk konutlar ise Müftüzade Sadık Paşa (Sadık Eliyeşil) ile Sorgu Hakimi Yakup Efendi'nin evleri oldu.

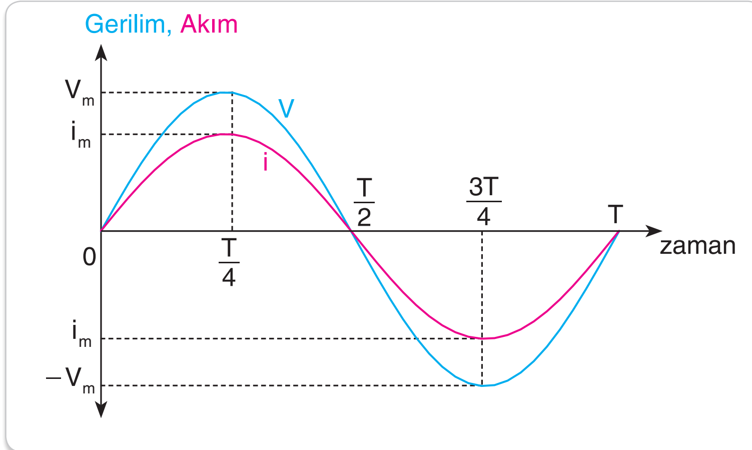
Daha sonra ise diğer evler de elektrikten yararlanmaya başladı. Bu dönemde evlerde elektrik düğmesi olmadığı için lambalar, santralden şalterin indirilmesiyle kapatılabiliyordu. Daha sonraki tarihlerde bu santrale ilaveler yapıldı ve Tarsus'un ışığa kavuşması, Türkiye tarihinde bir dönüm noktası olarak yerini aldı.

Alternatif Akımda Etkin ve Maksimum Değer



Mini Performans

Yurt dışına bir seyahat için gittiğinizde yanınızda götürdüğünüz cep telefonu, dizüstü bilgisayar, saç düzleştirici, mp3 çalar gibi elektrikli cihazlar, orada fişe taktığınızda sizce çalışır mı? Araştırınız.



Grafik 2.4 *Alternatif akım kaynağına bağlı dirençten oluşan devrede gerilimin ve akımın zamana bağlı grafiği*

Grafik 2.4'te görüldüğü gibi akım değerinin değişken olması alternatif akımın bir periyotluk sürede ortalama değerinin hesaplanmasını gerektirir. Güç bağıntısındaki i değeri olarak kullanılacak akım değeri alternatif akımın etkin değeri olarak tanımlanır. Bir dirençte doğru akımın açığa çıkardığı ısıyı, aynı dirençte ve eşit zamanda ortaya çıkarabilen alternatif akım değerine alternatif akımın etkin değeri denilir.

Alternatif akımın etkin değeri,

$i_e = \frac{i_m}{\sqrt{2}}$ olur. Buna göre alternatif akım geçen bir dirençte harcanan ortalama güç,

$P = i_e^2 \cdot R$'dir. Alternatif gerilimler de etkin gerilim cinsinden aynı şekilde ifade edilir.

Etkin gerilim, $V_e = \frac{V_m}{\sqrt{2}}$ olur.

Alternatif akım devrelerinde ampermetre ve voltmetre etkin akımı ve gerilimi ölçer.

2.5.3. Alternatif ve Doğru Akım Devrelerinde Direnç, Akım Makarası ve Sığacın Davranışı, İndüktans, Kapasitans, Empedans

Alternatif akım devrelerinin temel elemanlarından olan direnç akım makarası ve sığaç devrede farklı etkilere neden olur. Bu etkileri incelemek için *https://phet.colorado.edu/tr/simulation/legacy/circuit-construction-kit-ac* adresine gidiniz. Sağ taraftan "AC Voltaj" ve "Kablo" kullanarak

a)Yalnız direnç

b) Yalnız indüktör (akım makarası)

c) Yalnız kondansatör (sığaç) ile basit bir devre oluşturunuz.

Akım şiddeti-zaman, gerilim-zaman grafiklerini, voltmetre ve ampermetre araçlarını kullanarak devredeki ölçümleri analiz ediniz. AC Voltaj kaynağına, sığaca ve akım makarasına ait değerleri (kontrollü deney şartlarına uygun olarak) değiştirip sonuçlarını not ediniz. Sonuçlarına göre;

• Direnç devresinde akım ve gerilimin grafiklerini,

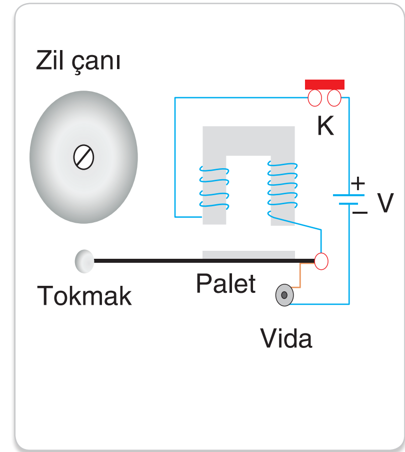
• Sığaç devresinde akım ve gerilim grafiklerinin yanı sıra kaynak frekansının değişimi, sığanın değişimi neticesinde devreden geçen akım şiddetini,

• Akım makarası devresinde akım ve gerilim grafiklerinin yanı sıra kaynak frekansının değişimi, öz-indüksiyon katsayısının de-

ğişimi neticesinde devreden geçen akım şiddetini analiz ederek direnç, sığaç ve akım makarasının AC devrelerindeki davranışları ile ilgili çıkarımlarda bulununuz.

Üzerinden akım geçen bir akım makarasının etrafında manyetik alan oluştuğunu biliyorsunuz. Bu özelliklerinden dolayı akım makaralarının geniş kullanım alanları vardır. Doğru akım devrelerinde, genellikle elektromıknatıslarda kullanılmaktadır.

Şekil 2.77'deki elektrik zilinde düğmeye basılıp devre kapatıldığında devreden akım geçmeye başlar ve demir çekirdek, akım makarasının etkisiyle mıknatıs özelliği kazanır. Böylelikle paleti kendine doğru çeker ve paletin ucundaki tokmak çana vurur. Bu sırada palet değme vidasından ayrılır ve devreden geçen akım kesilir. Demir çekirdek mıknatıslık özelliğini kaybeder ve paleti bırakır. Bu durumda devreden tekrar akım geçmeye başlar ve aynı döngü tekrarlanır. Devre kapalı olduğu yani devreden akım geçtiği sürece ses üretilir.

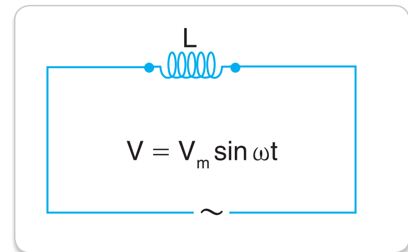


Şekil 2.77 *Elektrik zili*

Akım makaralarının alternatif akım devrelerinde daha geniş kullanım alanları vardır. Alternatif akım motorları, transformatörler, indüksiyon fırınları, osilatör, radyo devreleri gibi pek çok alanda kullanılmaktadır. Örneğin osilatörlerde frekansın ayarlanmasında kullanılır.

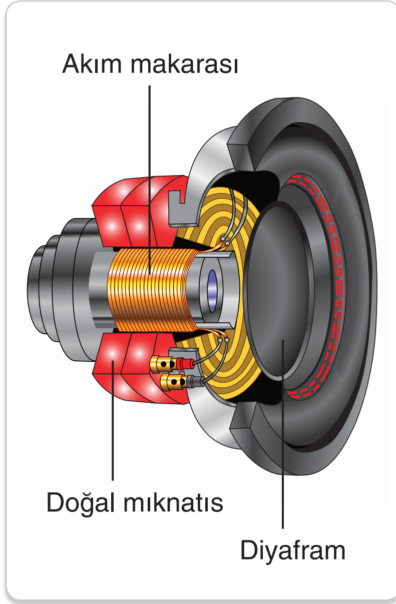
Direnci önemsiz bir akım makarası Şekil 2.78'deki gibi bir alternatif akım kaynağına bağlandığında merkezinde oluşan manyetik alan şiddeti,

$B = \frac{4\pi \cdot K \cdot N \cdot i}{\ell}$ olur.



Şekil 2.78 *Alternatif akım kaynağına bağlı bir akım makarası*

Alternatif akım şiddetinin değişken oluşundan dolayı manyetik alan şiddeti değişir. Akımın değişken oluşu, akım makarasının etrafında sürekli değişen manyetik alanların oluşmasını sağlar. Lenz Kanunu'na göre devre akımı artıyorsa azaltacak yönde, azalıyorsa artıracak yönde akım makarasında bir öz-indüksiyon akımı oluştuğunu biliyorsunuz.



Şekil 2.79 *Bir hoparlörün kesiti*

Alternatif akım şiddeti maksimum değerine doğru yükselirken akım makarası akımdaki artışa karşı koyar ve akımda meydana gelen artma aniden gerçekleşmez, kademeli bir artış yapmasını sağlar. Eğer alternatif akım şiddeti azalıyorsa akım makarasının manyetik alanı kendi üzerinde gerilim indükleyerek geçen akımın azalmasını yavaşlatmaya çalışır ve böylelikle akımın geçişini geciktirir. Kısaca akım makarası, akımdaki değişikliklere karşı koydukça devrenin daha yavaş davranmasına sebep olur.

Akım makaraları, Şekil 2.79'da kesiti görülen hoparlörde de kullanılır. Bir mikrofona konuşan birinin sesi elektrik sinyallerine dönüştürülür. Mikrofondan çıkan elektrik sinyalleri hoparlörün içindeki akım makarasından geçtiğinde üzerinde bir manyetik alan meydana getirir ve akım makarasını bir mıknatıs hâline getirir. Hoparlörün içinde bulunan doğal mıknatıs akım makarasını çeker. Mikrofona gelen sese yani elektrik sinyallerine bağlı olarak akım makarası titreşmeye başlar. Akım makarasının titreşim temposu, konuşan kişinin ses titreşimlerine bağlıdır. Akım makarasının bağlı olduğu sert kumaştan yapılmış diyafram da titreşerek havayı titreştirir. Böylece elektrik sinyalleri ses sinyallerine dönüştürülür.

Doğru akım devresinde ise sadece sabit bir manyetik alan oluşturur ve bu alana yaklaştırılan demir, nikel, kobalt gibi maddeler akım makarası tarafından çekilir. Devre akımı değişmediğinden akım makarası etrafındaki manyetik alan değişmez ve indüksiyon akımı oluşmaz.

Devrelerde kullanılan her akım makarası bir iletkenden yapıldığı için iletkenin direnci kadar dirence sahiptir. Doğru akım devresindeki bir akım makarasının akıma karşı gösterdiği direnç, akım makarasının yapıldığı iletkenin direncidir. Diğer bir deyişle ohmik(omik) dirençtir.

Değişken akım devresindeki bir akım makarasının direnci ise omik direncinden fazladır. Bunun nedeni, akım makarası etrafında oluşan değişken manyetik alanın da akıma karşı koyma etkisinin olmasıdır. Değişken akım frekansı arttıkça akım makarası etrafındaki manyetik alan daha hızlı değişeceğinden, akım makarasının akıma karşı gösterdiği direnç artar.

Akım makarasının değişken akıma karşı gösterdiği direnç etkisine indüktans denir. İndüktans X_L ile gösterilir ve birimi ohm dur.

İndüktans,

$X_L = \omega \cdot L$ bağıntısıyla hesaplanır.

Bağıntıdaki L, akım makarasının öz-indüksiyon katsayısıdır ve birimi henrydir. Akımın frekansı f ise;

$X_L = 2\pi f \cdot L$ olur.

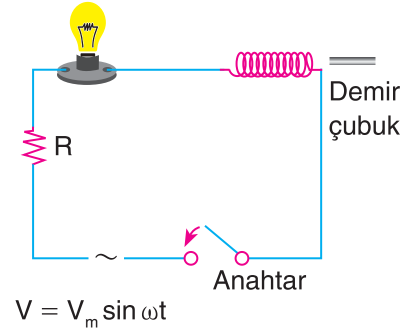
Bağıntıdan da anlaşılacağı gibi indüktans frekans ile doğru orantılıdır.

Bu direnç, devrede akımın artışına veya azalışına karşı koyma eğiliminden kaynaklanır. Devrede akım arttığında akım makarası, akım kaynağından aldığı enerjiyi manyetik alanda toplar. Akım azaldığında ise öz-indüksiyonla aldığı enerjiyi devreye geri verdiğinden enerji harcanmaz.

ÖRNEK 28

Birbirine seri bağlı AC kaynağı, direnç, anahtar, akım makarası ve lambadan oluşan devre şekildeki gibidir.

Anahtar kapatıldıktan sonra lamba düzenli olarak ışık verirken demir çubuk akım makarasının içine sokuluyor. Lambanın parlaklığında nasıl bir değişim gözlenir?

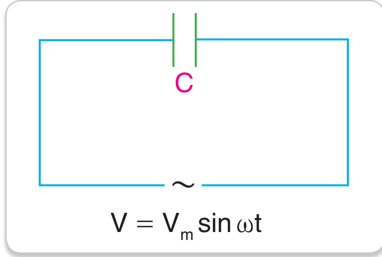


ÇÖZÜM

Demir çubuk içeri girdikçe manyetik alan şiddeti artar ve buna bağlı olarak öz-indüksiyon katsayısı (L) artar. L ile doğru orantılı olan indüktans da artar. İndüktansın artması, lambanın uçları arasındaki gerilimi azaltır. Sonuçta lambanın ışık şiddeti azalır.

Bir doğru akım devresine bağlı sığacın, doluncaya kadar akım geçirdiğini ve dolduktan sonra açık bir anahtar gibi davranarak akım geçirmediğini biliyorsunuz. Doğru akım devrelerinde yük depolama özelliği bulunan sığaçlar, değişken akım devrelerinde akım yönünün ve şiddetinin sürekli değişmesinden dolayı yük depolayamaz. Akımın çift yönlü ve değişken olması nedeniyle sığacın kutupları sürekli olarak değişir. Diğer bir ifadeyle, sığaçlar doğru akımı geçirmeyip (dolduktan sonra), alternatif akımı geçirir.

Devrede akım şiddeti maksimum olduğunda sığaç henüz dolmadığından uçları arasındaki gerilim maksimum değerine ulaşmamıştır. Gerilim artarken akım azalır ve gerilim maksimum değerini aldığında sığaç yüklenir. Sığacın yüklendiği anda akım sıfır olur.



Şekil 2.80 *Alternatif akım kaynağına bağlı bir sığaç*

Alternatif akım kaynağına bağlı bir sığaçtan akım geçerken sığaç bu akıma karşı bir direnç gösterir (Şekil 2.80). Gösterdiği bu dirence **kapasitans** adı verilir ve X_C ile gösterilir. Kapasitans,

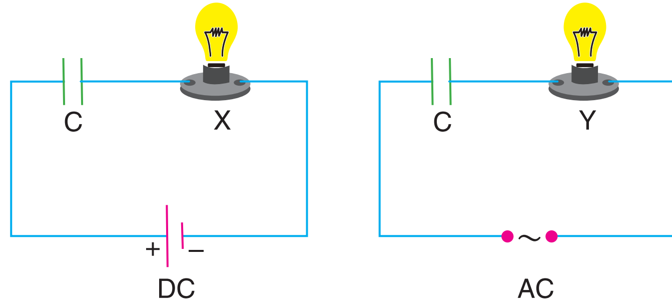
$X_C = \frac{1}{\omega \cdot C}$ bağıntısıyla bulunur. Birimi ohm'dur. Alternatif akımın frekansı f ve sığacın sığası C ise,

$X_C = \frac{1}{2\pi f \cdot C}$ olur.

Alternatif akım devresindeki gerilim değiştikçe sığaç dolar ve boşalır. Bu değişme ne kadar yavaş olursa yani frekans ne kadar azalırsa sığaçtan geçen yük akışı da o kadar yavaş olur ve sığaç daha fazla direnç gösterir. Diğer bir deyişle kapasitans alternatif akımın frekansı arttıkça azalır.

Sığaçlı devrelerde enerji sığacın elektrik alanında depolanır. Alternatif akım kaynaklarına bağlı sığaçlar sürekli dolup boşaldığı için depolanan enerji tekrar devreye verilir. Böylelikle sığaçlı devrelerde enerji harcanmaz.

ÖRNEK 29



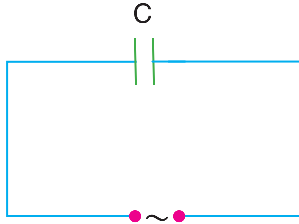
Şekildeki devrelerde doğru akım ve alternatif akım kaynaklarına bağlı sığaç ve lambalar vardır. Devreden akım geçtikten bir süre sonra lambaların ikisi de ışık vermeye devam eder mi? Nedenini açıklayınız.

ÇÖZÜM

Doğru akım kaynağına bağlı olan sığaçlar yüklendikten sonra açık anahtar gibi davranır ve akım geçirmez. Bu nedenle X lambası bir süre yandıktan sonra söner. Sığaç alternatif akım kaynağına bağlandığında kapalı bir anahtar gibi davranır ve akım geçirir, Y lambası yanmaya devam eder.



Sıra Sizde 2.23



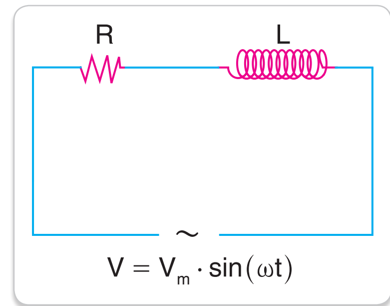
Şekildeki devrede alternatif akım kaynağına bağlı bir sığaç vardır. Sığacın kapasitansının azalması için

I. Sığacın levhaları arasındaki uzaklığın azaltılması,

II. Sığacın levhaları arasına elektriksel geçirgenliği büyük olan bir yalıtkan konulması,

III. Alternatif akım kaynağının frekansının artırılması işlemlerinden hangileri yapılmalıdır?

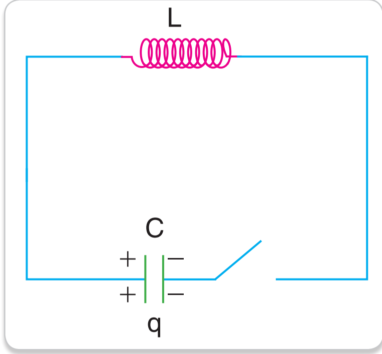
Alternatif akım devrelerinde de direnç elemanın yanında akım makarası veya sığaç gibi devre elemanları kullanılabilmektedir. Örneğin birbirine seri bağlanmış bir direnç ve akım makarasının oluşturduğu devre (RL) Şekil 2.81'deki gibi bir alternatif akım kaynağına bağlanmıştır.



Şekil 2.81 *Alternatif akım kaynağına bağlı direnç ve akım makarasından oluşan devre*

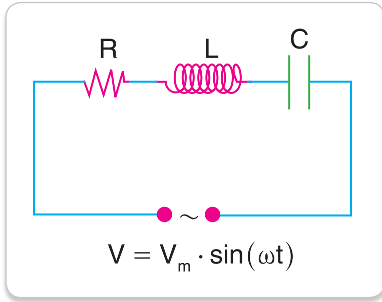
Alternatif akım devrelerinde, devrenin yerine geçebilecek diğer bir deyişle aynı özellikleri gösterebilen eşdeğer dirence **empedans** denir. Empedans, bir elektrik devresinde akıma gösterilen zorluğun yani elektron hareketine karşı koyma etkisinin genel bir ifadesidir ve Z harfiyle gösterilir. Birimi ohm'dur. Empedans doğru akım devresindeki eşdeğer direnç etkisinin alternatif akım devresindeki tam karşılığıdır. Bir alternatif akım devresindeki elemanların direnç, indüktans veya kapasitans etkilerinin toplamı, devrenin empedansını ifade eder denilebilir.

2.5.4. Bir Alternatif Akım Devresinin Rezonans Durumu



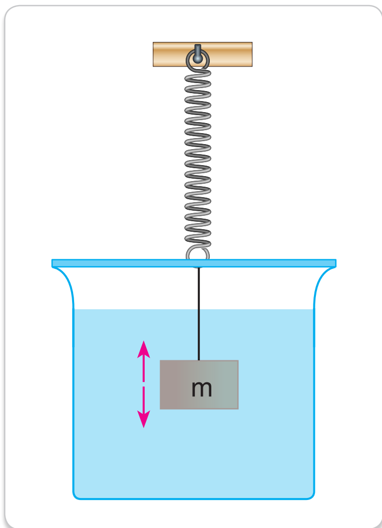
Şekil 2.82 *q yüküyle yüklenmiş bir sığaçtan ve akım makarasından oluşan devre*

q yükü ile yüklenmiş bir sığaç ile bir akım makarası şekilde görüldüğü gibi seri bağlanmıştır (Şekil 2.82). Devrede anahtar kapatıldığında sığaç yükünü boşaltmaya başlar ve devreden değişken bir akım geçmesine neden olur. Akım makarası devrede oluşan bu akıma karşı koyacak yönde bir indüksiyon akımı oluşturur. Bu durumda sığacın elektrik alanında depolanan enerji, akım makarasının manyetik alanında depolanmaya başlar. Sığaç tümüyle boşaldığında enerjinin tümü akım makarasında depolanır. Bu anda akım maksimum değerine ulaşır. Akım azalarak devam ederken akım makarası azalan akımı destekler. Böylece oluşan indüksiyon akımı ile sığaçta tekrar enerji depolanır ve sığaç yüklenmeye başlar. Devrenin omik direnci ihmal edilirse enerji sığaç ile akım makarası arasında peryodik olarak gidip gelmeye başlar. Bu hareket, sarmal bir yayın titreşim hareketine benzetilebilir.



Şekil 2.83 *Seri bir RLC devresi*

Şekil 2.83'teki birbirine seri bağlanmış direnç, akım makarası ve sığaç diğer bir deyişle seri bir RLC devresi görülmektedir. Bu devreden akım geçmeye başladıktan sonra sığaçla akım makarası arasında aktarılan enerji direnç üzerinde açığa çıkmaya başlar ve sürekli azalarak biter. Bu durumda hareket Şekil 2.84'teki gibi su içinde sönümlü titreşim yapan sarkacın hareketine benzetilebilir.



Şekil 2.84 *Su içinde sönümlü titreşim yapan sarkaç*

Bu durumda Şekil 2.82'deki seri bağlı akım makarası ve sığaçtan oluşan LC devresinin titreşimi sönümsüz mekaniksel titreşime benzetilebilir. Bu durumda mekaniksel titreşimlerde oluşan durumlar, LC devrelerinde de meydana gelebilir. Titreşim hareketi yapan bir cisim, kendi frekansıyla aynı frekansa sahip bir dış kuvvetle desteklendiğinde, sistemin genliği her titreşimde artar. Böylelikle titreşim genliği sürekli büyüyen bir titreşime dönüşür. Mühendislikte genliğin sonsuza gitmesi şeklinde açıklanan bu olaya **rezonans** denir.

Şekil 2.83'teki devreden geçen alternatif akım, dirence, akım makarasının indüktansına ve sığacın kapasitansına yani devrenin empedansına bağlı olarak değişir. Bir elektrik devresinde rezonans, devreden geçen akımın en büyük değere ulaşması olarak tanımlanır. Bunun için devre empedansının en küçük de-

ğerini alması gerekir. Seri RLC devresinde indüktans ve kapasitans birbirine eşit olduğunda, empedans R direncine eşit olur ve minimum değerini alır.

Buna göre $X_L = X_C$ olmalıdır.

Günümüzde radyo alıcılarının düzenlenmesinde, rezonans olayından yararlanılmaktadır. Radyo alıcısına gelen farklı sinyallerin frekanslarından hangisi LC devresinin titreşim frekansına eşitse o sinyal güçlü alınır ve rezonans hâli oluşur. Böylelikle LC devresinin frekansına uygun olan sinyal alınır. Diğer radyo istasyonlarından gelen sinyaller alınmaz. Radyo alıcısının istasyon ayar düğmesi döndürülerek LC devresindeki değişken sığacın sığası değiştirilir. Bu durumda LC devresinin titreşim frekansı yani rezonans frekansı değiştirilerek farklı sinyaller alınabilir (Görsel 2.31).



Görsel 2.31 *Radyoların alıcı devresine doğal frekanslı LC devreleri bağlıdır.*



2. ÜNİTE: 5. BÖLÜM DEĞERLENDİRME SORULARI

A. Aşağıdaki cümlelerde boş bırakılan yerleri uygun kelimeleri kullanarak tamamlayınız.

indüktans | alternatif | kapalı | direnç | sığaç | açık

1. Yönü ve şiddeti periyodik şekilde değişen akıma .... akım denir.
2. Doğru akım devresindeki bir sığaç doluncaya kadar .... devre gibi davranır.
3. Alternatif akım kaynağına bağlı bir .... devredeki akımın artma veya azalma hızını yavaşlatır.
4. AC devrelerinde enerji sadece .... harcanır.
5. Bir akım makarasının alternatif akıma karşı gösterdiği direnç etkisine .... denir.

B. Aşağıdaki cümlelerin başına doğru ise "D", yanlış ise "Y" yazınız.

1. ( ) Metro, tramvay gibi elektrikli taşıtlarda alternatif akım kullanılmaktadır.
2. ( ) Bir AC devresindeki bir sığacın kapasitansı, akım frekansı artıkça azalır.
3. ( ) Alternatif akımla elektroliz yapılabilir.
4. ( ) Seri bağlı bir RLC devresinin titreşimi, sönümlü mekaniksel titreşime benzer.
5. ( ) Bir dirençte doğru akımın açığa çıkardığı ısıyı, aynı dirençte ve eşit zamanda ortaya çıkarabilen alternatif akım değerine alternatif akımın anlık değeri denilir.

C. Aşağıdaki verilen soruları cevaplayınız.

1. Alternatif akım ile doğru akımın benzerlikleri ve farklılıkları nelerdir?
2. Alternatif akım kaynağına bağlı bir akım makarasının davranışını açıklayınız.
3. Elektriksel rezonans nedir?
4. Alternatif akım, doğru akımla çalışan cihazlarda nasıl kullanılabilir?
5. Üzerinden doğru akım geçen bir sığaç nasıl davranır?

Ç. Aşağıdaki problemleri çözünüz.

1. $V = 200 \cdot \sin 100\pi t$ fonksiyonuna sahip alternatif akım kaynağına $20\,\Omega$luk bir direnç bağlanıyor. Buna göre;

a. Maksimum gerilim değerini

b. Etkin gerilim değerini

c. Frekansını

ç. Maksimum akım değerini

d. Akımın etkin değerini

e. $t = \frac{1}{400}$ s anındaki gerilim değerini bulunuz. $(\sin 45° = \sqrt{2}/2)$

2. Alternatif akım denklemi $i = 20 \sin 120\pi t$ olan bir alternatif akım devresinde sadece 10 Ω'luk bir direnç vardır.

Buna göre bu devredeki gerilimin zamana bağlı değişim denklemini yazınız.

D. Aşağıdaki test sorularını çözünüz.

1. Aşağıdakilerden hangisi direk alternatif akımla çalışabilir?

A) Buzdolabı

B) Cep telefonu

C) Dizüstü bilgisayar

D) Radyo

E) Televizyon

2. Aşağıdakilerden hangisi **yanlıştır**?

A) Alternatif akımın yönü değişkendir.

B) Doğru akımın şiddeti sabittir.

C) Alternatif akımda, akımın en büyük değerine etkin akım şiddeti denir.

D) Seri bağlı RLC devresinde kapasitans, indüktansa eşitse devre rezonans hâlindedir.

E) Alternatif akım, doğru akıma dönüştürülebilir.

2.6. TRANSFORMATÖRLER

Bu bölümde;

- Transformatörlerin çalışma ilkelerini,
- Transformatörlerin kullanım amaçlarını,
- Enerji transferlerinde güç kaybını azaltmak için transformatör tasarımı yapmayı öğreneceğiz.

Kavramlar

- Transformatör
- Primer ve sekonder
- Primer ve sekonder gerilimi
- Primer ve sekonder akım şiddeti
- Primer ve sekonder gücü
- İdeal ve ideal olmayan transformatör

EVİMİZDEKİ POTANSİYEL

Evlerde sık kullanılan elektrikli aletlerden birisi de Görsel 2.32'de görülen tost makinesidir. Bu tost makinesi kaç voltluk bir gerilimle çalışmaktadır? Kullandığımız tüm elektrikli ve elektronik aletler aynı gerilimle mi çalışır? Peki, kullandığımız elektrikli ve elektronik aletlerin tümü alternatif akımla mı çalışır?

Tost makinesi gibi pek çok elektrikli aleti evlerde, iş yerlerinde, okulda, hastanelerde ve benzeri alanlarda kullanırız. Bu aletlerin birçoğu 220 V gerilimle çalışır. (Çalışma gerilimlerinin ülkelere göre farklılık gösterdiğini anımsayınız.) Bir başka elektrikli ev aletimiz, örneğin radyomuz 9 V (veya 9 V civarı) gerilimle çalışır.

Elektriğin elde edilerek evlerimize geliş sürecinde izlediği yolda enerji dönüşümleri vardır. Barajlarda depolanan sudaki potansiyel enerji, suyun bırakılması ile kinetik enerjiye dönüşerek barajdaki türbinin dönmesini sağlar. Türbinin dönüşü kullanılarak bölüm 2.4 ve bölüm 2.5'te öğrendiğiniz gibi alternatif akım elde edilir. Elde edilen alternatif akım evlerimize kadar ulaştıktan sonra, elektrikli cihazlar üzerinde tekrar farklı enerji türlerine dönüşür.

Yakın çevrenizde Görsel 2.33'te görülen trafonun bir benzerini (daha büyük ya da daha küçük olabilir) gördünüz mü?

Buna benzer yapıları, yaşadığınız çevrede görmüş olabilirsiniz. Mahallelerde, sanayi bölgelerinde vb. alanlarda elektrik santrallerinden gelen elektriğin gerilimi trafolar kullanılarak değiştirilir ve kullanıma sunulur.



Görsel 2.32 *Tost makinesi, evlerimizde kullanılan 220 V potansiyel fark altında çalışır.*

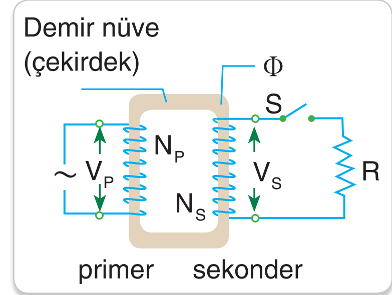


Görsel 2.33 *Trafolar, alternatif akımın potansiyelini değiştirmekte kullanılır.*

2.6.1. Transformatörlerin Yapısı ve Çalışma İlkeleri

Transformatör kelimesi dilimize Fransızca'dan girmiş olup Türkçe karşılığı dönüştürücüdür.

Bir transformatör Şekil 2.85'teki gibi çekirdek de denilen demir nüveye sarılı iki akım makarasından oluşur. Akım makaralarından birine ε büyüklüğünde bir alternatif akım uygulandığında transformatörün bu bölümündeki akım makarası, yönü sürekli değişen bir mıknatıs gibi davranır. Bu akım makarasının oluşturduğu manyetik alanın yönünün ve büyüklüğünün sürekli değişmesi, ikinci akım makarasının içinden geçen Φ manyetik akısının da sürekli değişmesini sağlar. İkinci akım makarası üzerindeki bu akı değişikliği, yine ikinci akım makarası üzerinde bir indüksiyon akımının oluşmasına ve bu akım makarasının üzerinde bir gerilimin oluşmasına neden olur. Yani transformatörler Faraday Kanunu'na göre çalışır. Devredeki S anahtarı açık konumda olduğunda ikinci akım makarası üzerinde gerilim oluşurken bu bölümdeki devre kapalı olduğundan akım oluşmaz. S anahtarının kapalı konuma getirilmesi ile ikinci akım makarası üzerinde oluşan indüksiyon emk nedeniyle R direnci üzerinden akım geçer.

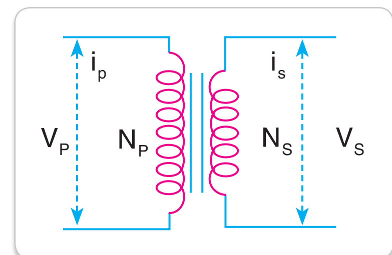


Şekil 2.85 *Bir transformatörün primer ve sekonder olmak üzere iki bölümü vardır.*

Şekil 2.85'teki transformatörün gerilim uyguladığımız kısmına "**primer**" ya da "**birincil**", primerden uygulanan alternatif akım yardımıyla indüksiyon emk elde edilen kısmına ise "**sekonder**" ya da "**ikincil**" denir.

Transformatörün primer kısmındaki gerilime "**primer gerilimi** (V_p)", akıma "**primer akımı** (i_p)" denir. Benzer biçimde sekonder kısmındaki gerilime "**sekonder gerilimi** (V_s)", akıma "**sekonder akımı** (i_s)" denir.

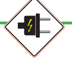
Transformatörlerin devredeki sembolü Şekil 2.86'daki gibidir.



Şekil 2.86 *Transformatörlerin devre üzerindeki gösterimi*

Primerden uygulanan alternatif akımın sürekli yön değiştirmesi, sekonderdeki akım makarası üzerinde oluşan akımın da sürekli yön değiştirmesine sebep olur. Yani sekonderden elde edilen akım da alternatif akımdır.

Şimdi bir transformatörün çalışma ilkesini ve üzerindeki değişkenleri görebileceğiniz Deney 2.3'ü yapınız.


Deney 2.3


Transformatörlerin Çalışma İlkesi

Araç Gereçler

- Güç kaynağı
- Akım makarası (300 ve 600 sarımlı olmak üzere 2 adet)
- Demir U çekirdek ve bu çekirdeğe uygun U çekirdek kapağı
- Transformatör sıkıştırıcı
- AC voltmetresi (2 adet, 0-12 V)
- AC ampermetresi (2 adet, 0-5 A)
- Bağlantı kabloları

Amacı: Bir transformatörün çalışma ilkesinin belirlenmesi, transformatör üzerindeki değişkenlerin analiz edilmesi

Deneyin Yapılışı

- Güç kaynağının olduğu tarafta 600 sarımlı, diğer tarafta 300 sarımlı akım makarası olacak biçimde görseldeki devreyi kurunuz. 600 sarımlı akım makarasının olduğu girişi, güç kaynağının AC çıkışına bağlayınız.
- Güç kaynağını açınız. Güç kaynağı 3 farklı konumda iken gerekli ölçümleri yaparak aşağıdaki çizelgeyi doldurunuz.



600 sarımlı akım makarası giriş, 300 sarımlı akım makarası çıkış iken kullanılacak çizelge

Deneme sayısı	Giriş gerilimi	Giriş akım şiddeti	Çıkış gerilimi	Çıkış akım şiddeti
1				
2				
3				

- Güç kaynağını kapatıp devrede yalnızca iki akım makarasının yerini değiştiriniz.
- Etkinliğin 2. basamağındaki ölçümleri yeniden yaparak aşağıdaki çizelgeyi doldurunuz.

300 sarımlı akım makarası giriş, 600 sarımlı akım makarası çıkış iken kullanılacak çizelge

Deneme sayısı	Giriş gerilimi	Giriş akım şiddeti	Çıkış gerilimi	Çıkış akım şiddeti
1				
2				
3				

Sonuca Varalım:

- Akım makaralarının sarım sayıları ile giriş ve çıkış gerilimleri arasında nasıl bir ilişki vardır? Giriş ve çıkış gerilimlerinin büyüklüklerini karşılaştırınız.
- Akım makaralarının sarım sayıları ile giriş ve çıkış akım şiddetleri arasında nasıl bir ilişki vardır? Giriş ve çıkış akım şiddetlerinin büyüklüklerini karşılaştırınız.
- Karşılaştırma sonuçlarına göre transformatörlerin çalışma prensibini açıklayınız.

Transformatörler bazen gerilimi artırmak, bazen de azaltmak için kullanılır. Deney 2.3'te görüldüğü gibi gerilimin artırılıp azaltılması primerdeki akım makarasının sarım sayısı N_P ile sekonderdeki akım makarasının sarım sayısı N_S arasındaki ilişkiye bağlıdır.

Transformatörün primer bölümüne bir güç verildiğinde sekonderden de bir güç alınır. Her enerji transferi ya da dönüşümü sırasında bir miktar kayıp oluşur. Transformatörde de primerden, sekondere enerji aktarımı sırasında belli bir güç kaybı yaşanır. Bu güç kaybını en aza indirmek için transformatörlerde kullanılan demir nüveler, birer yüzleri yalıtılmış sac levhaların üst üste konulması ile yapılır.

Primere verilen güce **"primer gücü"**, sekonderden alınan güce ise **"sekonder gücü"** denir. Primer gücü $P_p = V_p \cdot i_p$, sekonder gücü ise $P_s = V_s \cdot i_s$ ile bulunur.

Günümüzde yapılan transformatörlerin verimi oldukça yüksek olup primerden verilen güç ile sekonderden alınan güç arasındaki kayıplar %1 civarındadır. Bu kayıp ihmal edildiğinde, primerden verilen gücün tamamının sekonderden alındığı varsayılabilir ve verim %100 kabul edilebilir. Kayıpların yok kabul edilebileceği bu transformatörlere **"ideal transformatör"** denir.

Bugün kullandığımız sistemler içinde verimi en yüksek olanlardan birisi de transformatörlerdir. Demirin ferromanyetik özelliğinden dolayı sekonder etrafında oluşan manyetik alanın büyük bir kısmı (neredeyse tamamı) sekonderdeki akım makarasının içinde toplanır. Bu sayede %99,9'a varan verimler elde edilir. İdeal transformatörlerde verimi %100 kabul ederiz. Ancak transformatörlerde de mutlaka güç kaybı oluşmaktadır. Genel olarak bir sistemde

$$\text{Verim} = \frac{\text{Alınan güç}}{\text{Verilen güç}}$$ olduğundan ideal transformatör için

$$1 = \frac{P_S}{P_P} \qquad 1 = \frac{V_s \cdot i_s}{V_p \cdot i_p} \quad \text{ve} \quad \frac{V_s}{V_p} = \frac{i_p}{i_s}$$ elde edilir.

Yine ideal bir transformatörde, primer gerilimi ile sekonder gerilimi arasındaki ilişki primer sarım sayısı ve sekonder sarım sayısına bağlı olarak $\frac{V_s}{V_P} = \frac{N_s}{N_P}$ şeklinde ifade edilir. İdeal transformatördeki eşitlikleri birlikte ifade etmek istersek $\frac{V_s}{V_p} = \frac{i_p}{i_s} = \frac{N_s}{N_p}$ yazabiliriz. $\frac{N_s}{N_p}$ oranına **"değiştirme oranı"** denir.

Transformatörlerin, primerdeki ve sekonderdeki akım makaralarının sarım sayılarına göre isimlendirilmesi Tablo 2.10'da verilmiştir.

Tablo 2.10 *Primerdeki ve sekonderdeki sarım sayılarına göre transformatörlerin isimlendirilmesi*

Sarım sayısı ilişkisi	Gerilim ilişkisi	Akım şiddeti ilişkisi	Transformatörün ismi
$N_p > N_s$	$V_p > V_s$	$i_p < i_s$	Alçaltıcı (düşürücü) transformatör
$N_p < N_s$	$V_p < V_s$	$i_p > i_s$	Yükseltici transformatör



Mini Performans

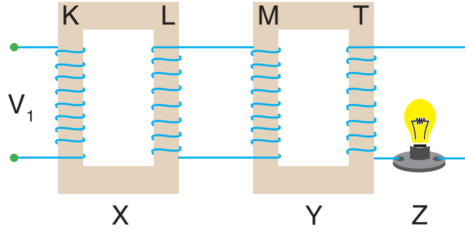
Bir transformatörün primerine,

a) Alternatif akım uygulandığında, sekonderinde nasıl bir sonuç elde edilir?

b) Doğru akım uygulandığında, sekonderinde nasıl bir sonuç elde edilir?

Performans çalışmanızın sonucuna göre genel bir değerlendirmede bulunarak transformatörün çalışması için gerekli en temel gereksinimlerin neler olduğuna karar veriniz.

ÖRNEK 30



İdeal X ve Y transformatörleri ile bir Z lambası kullanılarak şekildeki gibi bir devre kuruluyor. Bu devrede Z lambasının parlaklığını artırmak için

I. K'nin sarım sayısını artırmak

II. M'nin sarım sayısını azaltmak

III. T'nin sarım sayısını artırmak

işlemlerinden hangisi ya da hangileri tek başına yapılabilir?

A) Yalnız I **B)** Yalnız II **C)** Yalnız III

D) I ve III **E)** II ve III

ÇÖZÜM

Z lambasının parlaklığını artırmak için üzerindeki gerilimi artırmak gereklidir. Z lambası üzerindeki gerilime V_2 dersek ardışık bu transformatörler için

$\frac{V_1}{V_2} = \frac{N_K \cdot N_M}{N_L \cdot N_T}$ ve $V_2 = V_1 \cdot \frac{N_L \cdot N_T}{N_K \cdot N_M}$ elde edilir.

Yani lamba üzerindeki V_2 gerilimi L ve T'deki sarım sayıları ile doğru, K ve M deki sarım sayıları ile ters orantılıdır. Bu durumda;

I. K'nin sarım sayısını artırmak V_2yi ve Z lambasının parlaklığını azaltır.

II. M'nin sarım sayısını azaltmak V_2yi ve Z lambasının parlaklığını artırır.

III. T'nin sarım sayısını artırmak V_2yi ve Z lambasının parlaklığını artırır.

Cevap: **E**



Sıra Sizde 2.24

İdeal bir transformatör için verilen

I. Sekonder gerilimini artırmak için primerdeki sarım sayısını azaltmak gerekir.

II. Verimi %100'dür.

III. Primer gerilimi 2 katına çıkarsa sekonder gerilimi de 2 katına çıkar.

önermelerinden hangileri doğrudur?

2.6.2. Transformatörlerin Kullanım Alanları



Görsel 2.34 *Şarj cihazlarının ya da adaptörlerin içindeki transformatörler istenilen gerilimin elde edilmesini sağlar.*

Kullandığımız elektrikli aletlerin tamamı 220 V gerilimle çalışmaz. Tost makinemiz 220 V gerilimle çalışırken radyolarımız ise 9 V civarı bir gerilimle çalışır. Ancak evlerimize yalnızca 220 V'luk bir alternatif akım gelir. Her bir elektrikli alet için ihtiyaç duyulan gerilime karşılık evlerimize ayrıca bir şebeke kurulmaz. Elektrikli aletlerin çalışması için gerekli olan gerilim, transformatör içeren adaptörler vasıtası ile elde edilir. Ayrıca kullanılacak elektrikli alet eğer doğru akımla çalışıyorsa sekonderde elde edilen alternatif akımın doğru akıma çevrilmesi gerekir. Bunun için kullanılacak adaptörlerin içinde bir de doğrultma devresi bulunur. Görsel 2.34'te farklı gerilimlerle çalışan elektrikli aletler için tasarlanmış



Görsel 2.35 *Transformatörler akımın taşınması sırasında oluşan güç kayıplarını azaltmak için de kullanılır.*

farklı adaptörler görülmektedir. Bu adaptörlerin içindeki transformatörlerde istenilen sekonder gerilimine uygun olarak primer ve sekonder sarım sayıları belirlenir. Üretilen bazı adaptörlerde ise değişik anahtar konumları kullanılarak farklı sekonder gerilimlerinin elde edilmesi sağlanmaktadır. Ancak evlerimizde kullandığımız tüm adaptörler için primer gerilimi 220 V'tur.

Transformatörlerin kullanım amaçları sadece elektrikli aletler için gerekli gerilimi kullanmakla sınırlı değildir. Görsel 2.35'teki gibi bir santralden elde edilen alçak gerilim, elektriğin kullanılacağı bölgeye taşınması sırasında yükseltilir. Kullanılacağı bölgeye verilmeden önce tekrar alçaltılır. Ohm Kanunu'nu ve bir direnç üzerinde oluşan ısı enerjisini kullanarak taşıma sırasında neden yüksek gerilimin gerekli olduğunu anlayalım.

Yükseltici bir trafo ile alçaltıcı bir trafo arasında taşınan elektriğin akım ve gerilim değerlerini ele alalım. Yükseltici trafoda elde edilen gerilimin 100 kV olduğunu ve 100 km ötedeki bir yerleşim birimine bu elektriğin taşınacağını, ayrıca 100 km uzunluğundaki iletkenin direncinin de 200 Ω olduğunu varsayalım. Bu durumda oluşan akımın değeri Ohm Kanunu'na göre

$\varepsilon = i \cdot R \qquad 100000 = i \cdot 200$ ve $i = 500$ A olur.

100 km uzunluğundaki iletkenin direnci nedeniyle 1 s'de ısıya dönüşen elektrik enerjisi

$P = i^2 \cdot R \qquad P = 500^2 \cdot 200 = 5 \cdot 10^7$ W $= 50$ MW olur.

$\frac{V_s}{V_p} = \frac{i_p}{i_s}$ bağıntısına göre ideal bir transformatördeki sekonder gerilimi yarıya düşürüldüğünde sekonder akım şiddeti iki katına çıkar. Eğer potansiyel yükseltici trafodaki gerilim 100 kV yerine 50 kV yapılacak olursa i =1000 A olur.

Yeni durumda aynı iletken tel üzerinde 1 s'de ısıya dönüşen elektrik enerjisi

$P = i^2 \cdot R = 1000^2 \cdot 200 = 2 \cdot 10^8$ W $= 200$ MW olur.

İlk durumda 50 MW olan birim zamanda ısıya dönüşen elektrik enerjisi miktarı ikinci durumda 200 MW olmaktadır. Yani gerilimin yarıya indirilmesi ile akım şiddeti iki katına çıkarken birim

zamanda ısıya dönüşen enerji 4 katına çıkmaktadır. O hâlde transfer sırasında oluşan güç kayıplarını en aza indirmek için gerilimin artırılıp akımın düşürülmesi gerekir. Bu işlemi yapmak için de transformatörler kullanılır.

Transformatörler yardımıyla gerilimin artırılıp akımın düşürülmesi, transfer sırasında kullanılacak tellerin daha ince ve daha hafif olmasına olanak sağlar. Bu sayede daha az tel, daha az sayıda yüksek gerilim direği kullanılır ve elektriğin taşınması sırasında maliyet düşürülür.

Transformatör doğru akım dalgalarını kullanarak yüksek değerli alternatif akım elde etmek için de kullanılır. Primere sürekli olarak sabit bir doğru akım kaynağı bağlanırsa sekonderde gerilim oluşmaz. Sekonderde gerilim oluşturmak için primere bağlanan doğru akım güç kaynağının sürekli açılıp kapanması gerekmektedir.

Bunun dışında transformatörler, farklı gerilimler altında çalışan devre elemanlarının ihtiyacı olan gerilimleri tek kaynaktan aynı anda sağlamak görevinde de kullanılır.

Transformatörler çalışmaları sırasında yüksek gerilim ve yüksek akım şiddetleri ile çalıştıkları için aşırı ısınır ve tehlikeli sıcaklıklara ulaşır. Bu nedenle soğutulmaları gereklidir. Transformatörlerin soğutma sistemlerinde genel olarak yağ kullanılır.



2. ÜNİTE: 6. BÖLÜM DEĞERLENDİRME SORULARI

A. Aşağıdaki cümlelerde boş bırakılan yerleri uygun kelimeleri kullanarak tamamlayınız.

primer gerilimi | alternatif | akım makarası | doğru | sekonder gerilimi | transformatör

1. Gerilim artırmak ya da azaltmak için kullanılan düzeneğe .... denir.
2. Transformatörlerin girişindeki gerilime .... denir.
3. Transformatörlerde, demir nüve üzerinde iki .... bulunur.
4. Transformatörler .... akım ile çalışır.
5. Transformatörlerin çıkışından elde edilen gerilime .... denir.

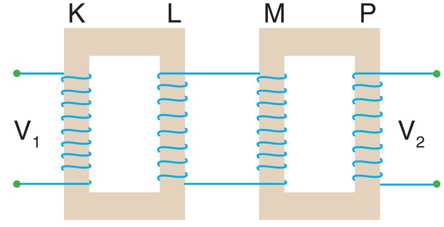
B. Aşağıdaki cümlelerin başına doğru ise "D", yanlış ise "Y" yazınız.

1. ( ) Primer sarım sayısı sekonder sarım sayısından büyük olan transformatörlere alçaltıcı transformatör denir.
2. ( ) Sürekli açılıp kapatılan bir doğru akımla da transformatör çalışabilir.
3. ( ) Elektriğin elde edildiği santralden, kullanılacağı yere ulaştırılması sürecinde oluşan güç kayıplarını azaltmak için gerilimi düşürüp akımı artırmak gerekir.
4. ( ) Transformatörler, sekonderdeki manyetik akının değiştirilmesi ile çalışır.
5. ( ) Transformatörün sekonderinden elde edilen güç primerden verilen güçten küçük ise bu transformatör ideal transformatördür.

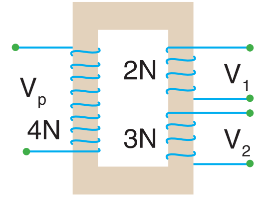
C. Aşağıda verilen soruları cevaplayınız.

1. Transformatörlerin yapısını açıklayınız.
2. Transformatörlerin çalışma ilkesini açıklayınız.
3. Transformatörlerin kullanım alanları nelerdir? Örnekler veriniz.
4. Elde edilen elektriğin taşınması sırasında oluşan güç kayıplarını en aza indirmek için transformatörlerden nasıl yararlanılır?
5. İdeal transformatör ne demektir? Açıklayınız.

Ç. Aşağıdaki problemleri çözünüz.

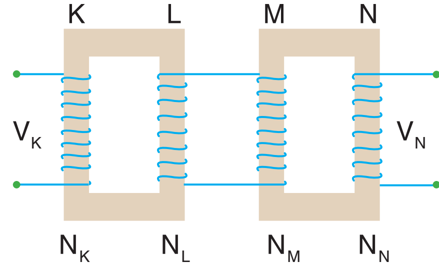


1. Şekildeki gibi bağlanmış ideal bir transformatörde K, L, M ve P bölümlerindeki sarım sayıları N_K, N_L, N_M ve N_p dir. Transformatörün primer gerilimi V_1, sekonder gerilimi V_2 olup $\frac{V_1}{V_2} = \frac{1}{3}$ ve $\frac{N_K}{N_L} = 2$ dir.
Buna göre $\frac{N_P}{N_M}$ oranı kaçtır?



2. Şekildeki ideal transformotörün primeri 4N sarım sayısına sahip olup sekonderinde 2N ve 3N sarım sayılarına sahip iki çıkış bulunmaktadır.
Buna göre V_1 ve V_2 gerilimlerini V_p cinsinden bulunuz.

D. Aşağıdaki test sorularını çözünüz.



1. Şekildeki gibi bir ideal transformatörde sekonderden elde edilen gerilimi iki katına çıkarmak için

I. L'deki sarım sayısını iki katına çıkarmak,
II. M'deki sarım sayısını iki katına çıkarmak
III. N'deki sarım sayısını yarıya indirmek

işlemlerinden hangileri tek başına yapılabilir?

A) Yalnız I **B)** Yalnız II **C)** Yalnız III **D)** I veya II **E)** II veya III

2. Transformatörler ve kullanım alanları ile ilgili olarak aşağıda verilen bilgilerden hangisi **yanlıştır**?

A) Gerilimi yükseltmede kullanılır.
B) Gerilimi düşürmede kullanılır.
C) Doğru akım kaynağı ile çalışır.
D) Alternatif akım kaynağı ile çalışır.
E) Gerilimi yükselterek taşıma sırasındaki güç kayıpları azaltılır.

2. ÜNİTE TARAMA SORULARI

A. Aşağıdaki cümlelerde boş bırakılan yerleri uygun kelimeleri kullanarak tamamlayınız.

kapasitans | pozitif | zıt | aynı | jeneratör | uzaklık
indüksiyon | empedans | ideal | yüklerin çarpımı | sığaç | öz-indüksiyon

1. Elektrik alan içinde bulunan "–" yüklü cisme alanla .... yönde elektriksel kuvvet uygulanır.

2. Yüklü iki cismin birbirine uyguladığı elektriksel kuvvet .... ile doğru, ... karesi ile ters orantılıdır.

3. AC devrelerinde, sığacın akıma karşı gösterdiği zorluğa .... denir.

4. Negatif yüklü iki cismin oluşturduğu sistemin potansiyel enerjisi .... işaretlidir.

5. ...., iki levhanın zıt yüklerle yüklenerek elektrik enerjisi depolanmasını sağlar.

6. Bir yüzeyden geçen toplam manyetik alana .... denir.

7. Akım makarasının merkezine bir mıknatısın yaklaştırılıp uzaklaştırılması ile .... akımı elde edilir.

8. Alternatif akım devrelerinde akım makarasının, sığacın ve direncin oluşturduğu eşdeğer dirence .... denir.

9. Mekanik enerjiyi elektrik enerjisine çeviren düzeneklere .... denir.

10. Sekonder gücü, primer gücüne eşit kabul edilen transformatörlere .... transformatör denir.

B. Aşağıdaki cümlelerin başına doğru ise "D", yanlış ise "Y" yazınız.

1. (   ) Elektrik alan çizgileri, yüklü cismin yüzeyine daima diktir.

2. (   ) Yüklü iki cismin birbirine uyguladığı elektriksel kuvvetin büyüklüğü, ortamın dielektrik katsayısı ile doğru orantılıdır.

3. (   ) "+" yükün, yüksek potansiyelden düşük potansiyele getirilmesi ile sistemin potansiyel enerjisi artar.

4. (   ) Bir sığacın üzerine uygulanan potansiyel artırılırsa sığası da artar.

5. (   ) Negatif yüklü cisimden uzaklaştıkça potansiyel azalır.

6. (   ) Manyetik alana giren yüklü parçacığa etki eden manyetik kuvvet, hız vektörüne daima diktir.

7. (   ) İletken telden yapılmış halka düzgün manyetik alan içinde döndürülürse akım elde edilir.

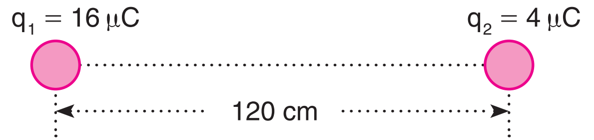
8. ( ) İletken bir telin manyetik alan içinde hareket ettirilmesi ile uçları arasında potansiyel fark oluşturulabilir.

9. ( ) Alternatif akımda, potansiyel fark denklemi sinüs veya kosinüs fonksiyonu ile ifade edilebilir.

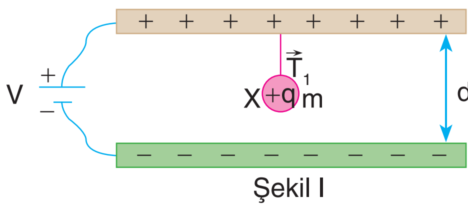
10. ( ) Elektriğin nakli sırasında oluşan ısı kayıplarını önlemek için transformatörlerin sekonderindeki akım şiddeti artırılır.

C. Aşağıdaki problemleri çözünüz.

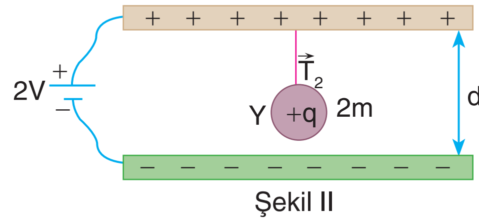
1. Aralarında 120 cm uzaklık bulunan 16 μC ve 4 μC yüklere sahip iki noktasal cismin bulunduğu ortama yüklü üçüncü bir noktasal cisim daha konulduğunda hareketsiz kaldığı gözleniyor. Buna göre üçüncü yükün q_1 yüküne uzaklığı kaç cm'dir?



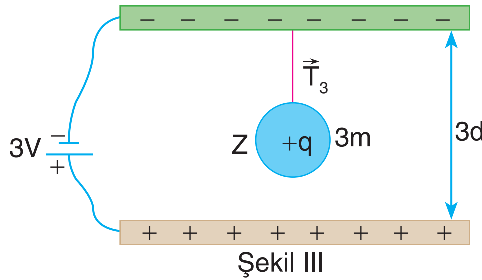
2. Düşey levhalar arasına yalıtkan iple Şekil I, Şekil II ve Şekil III'teki gibi asılan +q yüklü X, Y ve Z cisimlerinin kütleleri m, 2m ve 3m'dir. $\vec{T}_1$ gerilme kuvveti 2mg olduğuna göre $\vec{T}_2$ ve $\vec{T}_3$ gerilmelerinin kaç mg olduğunu bulunuz.



Şekil I

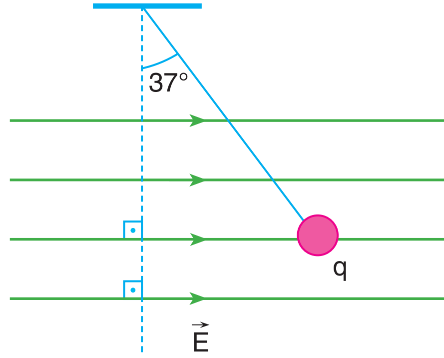


Şekil II

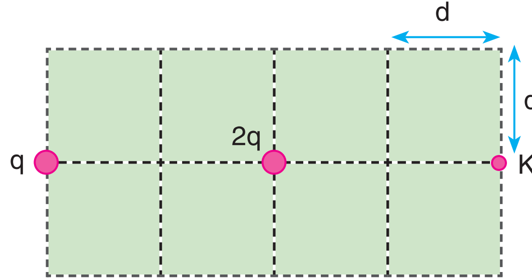


Şekil III

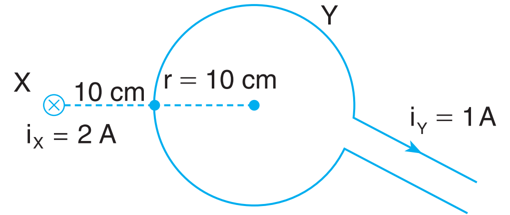
3. 2 g kütleli $5 \cdot 10^{-5}$ C yüke sahip cisim düzgün elektrik alanda yalıtkan iple asıldığında şekildeki gibi dengede kalıyor. Buna göre elektrik alan şiddeti kaç N/C'dur? $\left(\tan 37^\circ = \frac{3}{4}, g = 10\ N/kg\right)$



4. Şekildeki sistemde q ve 2q yükleri sabitlenmiştir. Sistemin elektrostatik potansiyel enerjisi 10 J'dür. +3q yükünü sonsuzdan K noktasına getirmek için yapılan iş kaç J olur?



5. Sayfa düzlemine dik X iletken teli ve yarıçapı 10 cm olan Y iletken halkası şekildeki gibi konuluyor. X telinden 2 A, Y halkasından 1 A akım geçirildiğinde halkanın merkezinde oluşan manyetik alanın büyüklüğünü bulunuz. ($\pi = 3$ alınız. $K = 10^{-7}$ N/A^2)

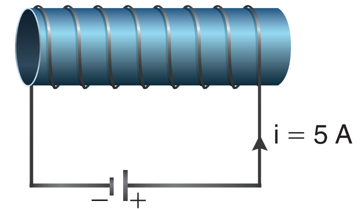


6. Şekildeki gibi üzerinden 5 A akım geçirilen 20 cm uzunluğundaki akım makarasının merkezinde oluşan manyetik alanın büyüklüğünün $1,2 \cdot 10^{-2}$ T olması isteniyor. Buna göre

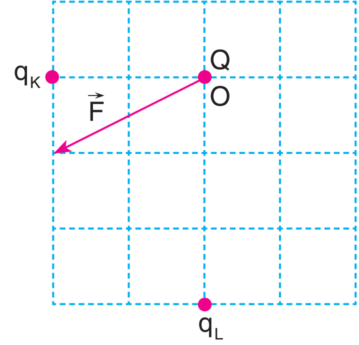
a) Makaradaki sarım sayısını,

b) Kullanılması gereken iletken telin yarıçapını bulunuz.

(İletken telin sarımı tek katlı ve aralarında boşluk kalmayacak şekilde olacaktır. $\pi = 3$ alınız. $K = 10^{-7}$ N/A^2)



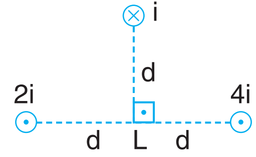
Ç. Aşağıdaki test sorularını çözünüz.



1. Eşit bölmeli düzlemde yerleştirilen q_K, q_L yüklerinin O noktasındaki yüke uyguladığı bileşke kuvvet $\vec{F}$ şekildeki gibidir. Buna göre $\frac{q_K}{q_L}$ oranı kaçtır?

A) $\frac{1}{6}$ **B)** $\frac{1}{4}$ **C)** $\frac{1}{2}$

D) $\frac{2}{3}$ **E)** $\frac{8}{9}$

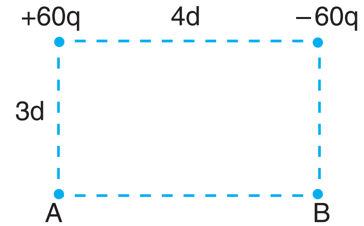


2. Sayfa düzlemine dik olarak yerleştirilen sonsuz uzunluktaki düz tellerden geçen akımlar şekildeki gibi gösterilmiştir. i akımının L noktasında oluşturduğu manyetik alanın şiddeti B'dir. Buna göre L noktasındaki bileşke manyetik alanın şiddeti kaç B'dir?

A) 1 **B)** $\sqrt{2}$ **C)** 2 **D)** $\sqrt{5}$ **E)** 3

3. Elektrik yükleri +2q ve −q olan iki noktasal cismin aralarındaki uzaklığı r den 2r ye çıkarmak için en az ne kadar iş yapılması gerekir?

A) $k\frac{q^2}{2r}$ **B)** $k\frac{q^2}{r}$ **C)** $-k\frac{q^2}{2r}$ **D)** $-k\frac{q^2}{r}$ **E)** $k\frac{2q^2}{r}$

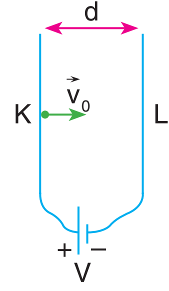


4. Kenar uzunlukları 3d ve 4d olan dikdörtgen şeklindeki zeminin iki köşesinde +60q ve –60q noktasal yükleri sabitleniyor.

Buna göre A ve B noktaları arasındaki potansiyel fark (V_{AB}) kaç $k\cdot\frac{q}{d}$ olur?

A) 16 **B)** 8 **C)** 0 **D)** −8 **E)** −16

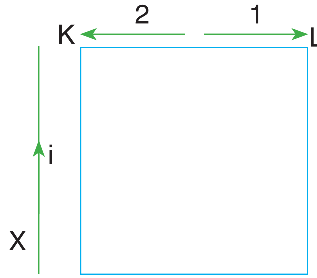
5. Aralarında d kadar uzaklık bulunan, birbirine paralel K ve L levhaları V potansiyeline sahip bir üretece şekildeki gibi bağlanmıştır. K levhası yakınlarından $\vec{v}_0$ ilk hızı ile fırlatılan +q yüküne sahip m kütleli noktasal cisim L levhasına E kinetik enerjisi ile çarpıyor.



E kinetik enerjisi aşağıdakilerden hangisine bağlı **değildir?**

A) d **B)** V **C)** q **D)** m **E)** v_0

6.



Şekildeki X iletken teli üzerinden i akımı geçmekte iken yakınına bir iletken telden yapılmış halka konulmuştur. Buna göre aşağıdaki ifadelerden hangileri doğrudur?

I. i akımı sabitken halka 2 yönünde hareket ettirilirse halkanın K-L bölümünde 1 yönünde akım oluşur.

II. Halka dururken i akımı artırılırsa halkanın K-L bölümünde 2 yönünde akım oluşur.

III. Halka 1 yönünde hareket ettirilirken i akımı azaltılırsa halkanın K-L bölümünde 1 yönünde akım oluşur.

A) Yalnız I **B)** Yalnız II **C)** I ve II **D)** II ve III **E)** I, II ve III

CEVAP ANAHTARI

1. ÜNİTE

1. ÜNİTE: 1. Bölüm Değerlendirme Cevapları

A. BOŞLUK DOLDURMA

1. bileşke **2.** zıt **3.** paralelkenar **4.** Pisagor Teoremi **5.** skaler

B. DOĞRU/ YANLIŞ

1. D **2.** Y **3.** Y **4.** D

Ç. PROBLEM ÇÖZME

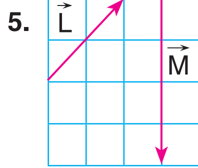
1. $F_{enbüyük} = 29$ N $F_{enküçük} = 5$ N

2. $F_{enbüyük} = 18$ N $F_{enküçük} = 0$

3. $R_1 = 5$ br $R_2 = 5$ br

4. $R = 5$

5.



6. $6\sqrt{3}$ N **7.** 7 N **8.** $10\sqrt{2}$ br

D. TEST

1. D **2.** B

1. ÜNİTE: 2. Bölüm Değerlendirme Cevapları

A. BOŞLUK DOLDURMA

1. bağıl hareket **2.** gözlenen, gözlemci **3.** bağıl hız **4.** bileşik hız

5. göreli **6.** referans noktası

B. DOĞRU/ YANLIŞ

1. D **2.** Y **3.** D **4.** Y **5.** D **6.** D

Ç. PROBLEM ÇÖZME

1. Her iki araç da diğerinin 12 m/s hızla kendisinden uzaklaştığını görür.

2. 2V, batı **3.** $20\sqrt{2}$ m/s **4.** $\frac{6}{5}$ **5.** 5 m/s **6. a)** 8 s **b)** 24. basamak **7.** 12 s

8. a) $t_c > t_A = t_B$ **b)** A-C arasında 2d A-B arasında 6d B-C arasında 8d

D. TEST

1. B **2.** C

1. ÜNİTE: 3. Bölüm Değerlendirme Cevapları

A. BOŞLUK DOLDURMA

1. sistem **2.** dengelenmemiş **3.** net **4.** etki-tepki **5.** eylemsizlik

B. DOĞRU/ YANLIŞ

1. Y **2.** D **3.** Y **4.** D **5.** Y

Ç. PROBLEM ÇÖZME

1. 12 N

2. a) 12 N **b)** m_K, sabit hızla; m_L, g ivmesiyle hızlanarak

3. a) 6 m/s^2 **b)** 16 N

4. 40 N

5. a) 1 m/s^2 **b)** $T_1 = 16\,N$ $T_2 = 12\,N$

6. a) m_3, aşağı; m_2, sağa; m_1, yukarı **b)** $T_1 = 22\,N$ $T_2 = 27\,N$

D. TEST

1. B **2.** A

1. ÜNİTE: 4. Bölüm Değerlendirme Cevapları

A. BOŞLUK DOLDURMA

1. yer çekimi ivmesi **2.** hız **3.** sürtünme, limit **4.** tepe **5.** aşağıdan yukarı

6. ortalama hız

B. DOĞRU/ YANLIŞ

1. D **2.** Y **3.** Y **4.** D **5.** D **6.** Y **7. D**

Ç. PROBLEM ÇÖZME

1. $\frac{2}{3}$ **2. a)** $v_A = 26\,m/s$, $v_B = 24\,m/s$ **b)** 240 m

3. a) 3 t **b)** $\frac{1}{2}$

4. 8 s

5. a) $a_1 > a_3 > a_2$ **b)** $x_3 > x_2 > x_1$

6. 200 m **7. a)** 0-2 s için $v_{ort} = 2\,m/s$; 2-4 s için $v_{ort} = 6\,m/s$ **b)** 2 m/s^2

8. 45 m/s **9. a)** 36 m/s, 153 m **b)** 14 m/s (aşağı yönde), 208 m

D. TEST

1. D **2.** B **3.** C

1. ÜNİTE: 5. Bölüm Değerlendirme Cevapları

A. BOŞLUK DOLDURMA

1. düzgün doğrusal hareket **2.** yer çekimi **3.** eğik

4. ağırlık **5.** maksimum **6.** menzil

B. DOĞRU/ YANLIŞ

1. Y **2.** D **3.** D **4.** D **5.** Y **6.** Y **7.** D

Ç. PROBLEM ÇÖZME

1. 560 m **2. a)** $20\sqrt{5}$ m/s **b)** 25 m

3. a) $t_A = t_B > t_C$ **b)** $h_A = h_B > h_C$ **c)** $x_B > x_A = x_C$

D. TEST

1. C **2.** E **3.** D

1. ÜNİTE: 6. Bölüm Değerlendirme Cevapları

A. BOŞLUK DOLDURMA

1. uygulanan kuvvet, yayın cinsi **2.** eşdeğer **3.** mekanik enerji

4. potansiyel **5.** esneklik

B. DOĞRU/ YANLIŞ

1. Y **2.** D **3.** D **4.** D **5.** D **6.** D

Ç. PROBLEM ÇÖZME

1. a) 36 J **b)** 4 N **2.** 52 J **3.** 1 m **4.** $\frac{3}{4}$

D. TEST

1. B **2.** D **3.** D

1. ÜNİTE: 7. Bölüm Değerlendirme Cevapları

A. BOŞLUK DOLDURMA

1. çizgisel momentum **2.** kinetik enerji **3.** itme **4.** ısı, ses

5. momentum korunumu

B. DOĞRU/ YANLIŞ

1. D **2.** Y **3.** Y **4.** D **5.** D **6.** D **7.** D

Ç. PROBLEM ÇÖZME

1. $75 \cdot 10^{-3}$ kg.m/s

2. a) 11,2 kg.m/s **b)** 11,2 kg.m/s **c)** 1,6 s

3. 3

4. a) 12 kg.m/s **b)** 60 N **c)** 60 J

5. 28 m/s

6. $I = 4,5$ kg.m/s; $v_{çarpma} = 40$ m/s

7. 40 m/s, geliş yönünün ters yönünde

8. a) 4 m/s **b)** 2,4 J

9. 50 m/s

10. 1,2 m/s

D. TEST

1. E **2.** D

1. ÜNİTE: 8. Bölüm Değerlendirme Cevapları

A. BOŞLUK DOLDURMA

1. tork **2.** vektörel **3.** dönme **4.** N · m **5.** bileşen

B. DOĞRU/ YANLIŞ

1. Y **2.** Y **3.** D **4.** Y **5.** D

Ç. PROBLEM ÇÖZME

1. 1 **2.** 2 **3.** 28 N **4.** I, II ve III **5.** 0

D. TEST

1. E **2.** C **3.** D

1. ÜNİTE: 9. Bölüm Değerlendirme Cevapları

A. BOŞLUK DOLDURMA

1. kuvvet, tork **2.** yer çekimi **3.** vektörel **4.** simetri **5.** dinamometre

B. DOĞRU/ YANLIŞ

1. Y **2.** D **3.** Y **4.** D **5.**D

Ç. PROBLEM ÇÖZME

1. 2

2. $T_1 = 200\,N,\quad T_2 = \dfrac{200\sqrt{3}}{3}\,N,\quad T_3 = \dfrac{400\sqrt{3}}{3}\,N$

3. 48 N

4. Yalnız L

D. TEST

1. B **2.** B

1. ÜNİTE: 10. Bölüm Değerlendirme Cevapları

A. BOŞLUK DOLDURMA

1. hareketli **2.** kasnak **3.** iş, enerji

4. kerpeten **5.** kayıp

B. DOĞRU/ YANLIŞ

1. Y **2.** D **3.** Y **4.** D **5.** Y

Ç. PROBLEM ÇÖZME

1. $T_1 = 2P$ $T_2 = 2P$ $T_3 = P$

2. 3 **3. a)** 75 N **b)** 255 N **c)** % 80

4. L ve M saat ibresinin yönünde 24'er tur; N, saat ibresinin tersi yönünde 36 tur.

D. TEST

1. D **2.** C

1. Ünite Tarama Cevapları

A. BOŞLUK DOLDURMA

1. sıfır **2.** palanga **3.** uç uca ekleme **4.** batı **5.** yatay

6. paralel **7.** hızlanma **8.** bileşke **9.** konum **10.** 45°

B. DOĞRU/ YANLIŞ

1. Y **2.** D **3.** D **4.** Y **5.** Y **6.** D **7.** D **8.** Y **9.** D **10.** Y

C. PROBLEM ÇÖZME

1. $F_1 = 6\,N$, $F_2 = 8\,N$

2. a) 50 s **b)** 50 m

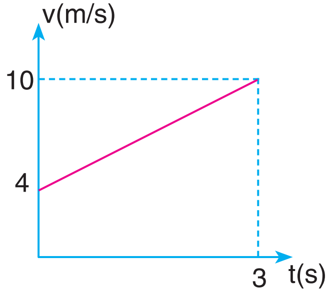
3. a) 14 m/s^2 **b)** 16 N

4. a) 6 s **b)** 60 m **c)** $10\sqrt{37}$ m/s

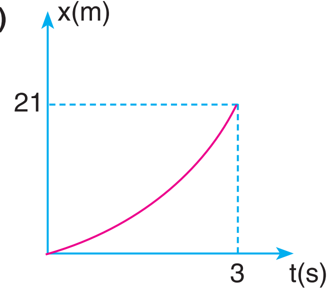
5. a) 120 kg.m/s **b)** 100 kg.m/s **c)** 20 kg.m/s

6. 160 N

7. a)



b)



8. $v_K = \sqrt{2}$ m/s, $v_M = 1$ m/s

9. a) 135 m **b)** 30 m/s (aşağı yönde)

Ç. TEST

1. B **2.** A **3.** B **4.** E **5.** B **6.** D **7.** B **8.** D

2. ÜNİTE

2. ÜNİTE: 1. Bölüm Değerlendirme Cevapları

A. BOŞLUK DOLDURMA

1. zıt, aynı **2.** vektörel **3.** coulomb **4.** elektrik alan **5.** elektriksel kuvvet

B. DOĞRU/ YANLIŞ

1. D **2.** Y **3.** Y **4.** D **5.** D

Ç. PROBLEM ÇÖZME

1. $\sqrt{21}$

2. 2

3. $T_1 = 40\,N$ $T_2 = 2\,N$

4. $5\sqrt{5}$

D. TEST

1. D **2.** D **3.** D

2. ÜNİTE: 2. Bölüm Değerlendirme Cevapları

A. BOŞLUK DOLDURMA

1. eş potansiyel **2.** skaler **3.** elektriksel iş **4.** volt **5.** potansiyel

B. DOĞRU/ YANLIŞ

1. Y **2.** D **3.** D **4.** D **5.** D

Ç. PROBLEM ÇÖZME

1. –27 V

2. a) 6 J **b)** $1{,}8 \cdot 10^5\,V$ **c)** 36 J

3. a) $-\frac{1}{2}$ **b)** İş, sistem tarafından yapılmıştır.

4. $2\sqrt{2}$

D. TEST

1. B **2.** A **3.** D

2. ÜNİTE: 3. Bölüm Değerlendirme Cevapları

A. BOŞLUK DOLDURMA

1. sığa **2.** elektrik alan, vektörel **3.** sığaç **4.** uzaklık **5.** yük

B. DOĞRU/ YANLIŞ

1. Y **2.** D **3.** D **4.** Y **5.** D

Ç. PROBLEM ÇÖZME

1. $\frac{1}{2}$ **2.** $2,5 \cdot 10^{-5}$ C **3.** $\frac{1}{2}$

D. TEST

1. A **2.** B

2. ÜNİTE: 4. Bölüm Değerlendirme Cevapları

A. BOŞLUK DOLDURMA

1. iş **2.** öz-indüksiyon **3.** manyetik akı, indüksiyon **4.** zıt **5.** indüksiyon emk

B. DOĞRU/ YANLIŞ

1. D **2.** Y **3.** Y **4.** Y **5.** D

Ç. PROBLEM ÇÖZME

1. –3

2. a) 2 yönünde **b)** 2 yönünde **c)** 2 yönünde

D. TEST

1. C **2.** D

2. ÜNİTE: 5. Bölüm Değerlendirme Cevapları

A. BOŞLUK DOLDURMA

1. alternatif **2.** açık **3.** sığaç **4.** dirençte **5.** indüktans

B. DOĞRU/ YANLIŞ

1. D **2.** D **3.** Y **4.** D **5.** Y

Ç. PROBLEM ÇÖZME

1.a. 200 V **b.** $100\sqrt{2}$ V **c.** 50 s^{-1} **ç.** 10 A **d.** $5\sqrt{2}$ **e.** $100\sqrt{2}$ V **2.** $V = 200 \sin 120\pi t$

D. TEST

1. A **2.** C

2. ÜNİTE: 6. Bölüm Değerlendirme Cevapları

A. BOŞLUK DOLDURMA

1. transformatör **2.** primer gerilimi **3.** akım makarası **4.** alternatif **5.** sekonder gerilimi

B. DOĞRU/ YANLIŞ

1. D **2.** D **3.** Y **4.** D **5.** Y

Ç. PROBLEM ÇÖZME

1. 6 **2.** $V_1 = \frac{1}{2}V_p$ $V_2 = \frac{3}{4}V_p$

D. TEST

1. A **2.** C

2. Ünite Tarama Cevapları

A. BOŞLUK DOLDURMA

1. zıt **2.** yüklerin çarpımı, uzaklık **3.** kapasitans **4.** pozitif **5.** sığaç **6.** manyetik akı

7. indüksiyon **8.** empedans **9.** jeneratör **10.** ideal

B. DOĞRU/ YANLIŞ

1. D **2.** Y **3.** Y **4.** Y **5.** Y **6.** D **7.** D **8.** D **9.** D **10.** Y

C. PROBLEM ÇÖZME

1. 80 cm **2.** $\vec{T}_2 = 4\,mg$ $\vec{T}_3 = 2\,mg$ **3.** 300 N/C **4.** 37,5 J **5.** $2\sqrt{10} \cdot 10^{-6}$ T

6. a) 400 **b)** 0,25 mm

Ç. TEST

1. E **2.** D **3.** B **4.** E **5.** A **6.** D

SIRA SİZDE SORULARI CEVAP ANAHTARI

1. ÜNİTE

SIRA SİZDE SORULARI CEVAP ANAHTARI

Sayfa	No	Cevap
15	1.1	**Skaler Büyüklükler**: Sıcaklık, zaman, kütle, potansiyel fark **Vektörel büyüklükler**: Kuvvet
17	1.2	$2\vec{K}$, $-\frac{2}{3}\vec{K}$, $-\frac{4}{3}\vec{K}$, $\frac{3}{2}\vec{L}$, $-2\vec{L}$, $\frac{5}{2}\vec{L}$
19	1.3	+y, −y, +x, −x, $\vec{L}$, $\vec{N}$, $\vec{K}$, $\vec{M}$, $\vec{D}$
20	1.4	+z, +y, +X, $\vec{T}$
24	1.5	2 birim
26	1.6	$R = 8\sqrt{5}$ N

Sayfa	No	Cevap
26	1.7	$R = 15\sqrt{2}$ N
28	1.8	R = 5 birim
28	1.9	$R = \sqrt{85}$ birim
43	1.10	**a)** 10 m/s, doğu yönünde **b)** 10 m/s, batı yönünde
44	1.11	**a)** 150 km/h, güney yönünde **b)** 150 km/h, kuzey yönünde
46	1.12	**a)** 30 m/s, doğu yönünde **b)** 30 m/s, batı yönünde
47	1.13	$20\sqrt{2}$ m/s, kuzeybatı
50	1.14	**a)** 5 m/s, akıntı yönünde **b)** 20 m
52	1.15	**a)** Motorun hareket etkisi, sudaki akıntı **b)** Rüzgar ve sudaki akıntı
54	1.16	**a)** 7 s **b)** 49 m
57	1.17	t = 20 s
63	1.18	Topa: Ağırlık ve yerin tepki kuvveti, Elmaya: Ağırlık ve sapındaki gerilme kuvveti
72	1.19	**a)** $f_s = 8$ N **b)** k = 0,4
75	1.20	$F_{1,2} = F_{2,1} = 40$ N
76	1.21	$T_1 = 13$ N, $T_2 = 21$ N

Sayfa	No	Cevap
92	1.22	**a)** 4 m/s **b)** 48 m
100	1.23	$h_2 > h_3 > h_1$
105	1.24	**a)** Azalan ivmeyle hareket eder. Bunun nedeni cisim hızlandıkça hava direncinin artmasıdır. **b)** Cismin hareket yönüne dik kesit alanı ve kütlesi, yer çekimi ivmesi, hava direnci katsayısı
107	1.25	**a)** 30 m **b)** 25 m/s
111	1.26	**a)** 50 m/s, 195 m **c)** 16 s **b)** 20 m/s, 300 m **d)** 320 m
127	1.27	2200 m
136	1.28	**a)** $v_{0Y} = 60 m/s$, $v_{0X} = 80 m/s$ **b)** $t_{uçuş} = 12 s$ **c)** $h_{max} = 180$ m **ç)** $X_{menzil} = 960$ m
136	1.29	**a)** h = 500 m **b)** $v_{0(L)} = 24 m/s$
143	1.30	275 J
146	1.31	F(N) 24 0 -9 3 9 x (m)
152	1.32	**a)** $k_{eş} = 200$ N/m **b)** $x_1 = 0,1 m; x_2 = 0,05 m$
154	1.33	**a)** $k_{eş} = 700$ N/m **b)** $x_1 = x_2 = 0,1 m$

Sayfa	No	Cevap
156	1.34	**a)** 12 N **b)** 0,2 m
160	1.35	$\frac{1}{2}$
161	1.36	$\frac{1}{3}$
164	1.37	2,4 m
177	1.38	t = 0,02 s
178	1.39	**a)** Futbolcunun topa uyguladığı kuvvet nedeniyle topun hızı ve yönü değişir. Kuvvetin oluşturduğu itme, momentumdaki değişime eşittir. **b)** Topu elinde tutarken topun hızı ve momentumu sıfırdır. Topu fırlattığı sırada kuvvetin oluşturduğu itme, topun momentumundaki değişime eşittir.
179	1.40	net kuvvet 2F 0 -F t 2t 5t zaman
181	1.41	28. s
184	1.42	**a)** 0,6 N.s **b)** $\frac{3}{4}$ N
185	1.43	**İç kuvvetler: 1.** Karavanın, kamyonete bağlı olduğu halattaki (ya da kancadaki) kuvvet, **2.** Karavanın ve kamyonetin içinde bulunan eşyaların ağırlıkları. **Dış kuvvetler: 1.** Kamyonet motorunun hareket ettirici kuvveti, kamyonet ve karavanın içindeki eşyalar dahil toplam ağırlıkları (yere etki eden toplam etki kuvveti), **2.** Yerin kamyonet ve karavana uyguladığı toplam tepki kuvveti, **3.** Kamyonet ve karavana etki eden sürtünme kuvvetleri

Sayfa	No	Cevap
199	1.44	$E_{k(ilk)} = 1{,}536$ J ve $E_{k(son)} = 1{,}5$ J olduğundan 0,036 J enerji dönüşmüştür. Çarpışma esnek değildir.
200	1.45	$6 \cdot 10^5$ J
201	1.46	1,6 m/s
216	1.47	6 birim uzağa asılabilir.
217	1.48	$\tau = 70\ N \cdot m$, $(-)$ yönde
219	1.49	$\tau = 166\ N \cdot m$, $(+)$ yönde
220	1.50	100 N
221	1.51	$\tau = 6\ Fd$, $(-)$ yönde
230	1.52	6 m
250	1.53	1 m 300 N F = 50 N T = 150 N 2 m Desteğe göre tork alınırsa; $G_{cisim} \cdot 1 = T \cdot 2$ $300 \cdot 1 = T \cdot 2$ $T = 150$ N olur. F kuvvetinin en küçük olması için ipin sarımı şekildeki gibi olmalıdır. Buna göre $3F = T$ $3F = 150$ $F = 50$ N olur.
251	1.54	I, II, III
252	1.55	(–) yönde 6 devir
253	1.56	$\frac{h}{2}$

2. ÜNİTE

SIRA SİZDE SORULARI CEVAP ANAHTARI

Sayfa	No	Cevap
275	2.1	$n = 1,25 \cdot 10^{11}$ tane
277	2.2	**a)** 16 **b)** İlk durumda cisimler çekme yönünde kuvvet uygularken, son durumda itme yönünde kuvvet uygular.
297	2.3	**a)** –3 V **b)** –15 V **c)** 27 V **ç)** 15 V
300	2.4	**1.** **a)** $V_B = 2,7 \cdot 10^5$ V, $V_C = 1,8 \cdot 10^5$ V **b)** $V_{CB} = V_B - V_C = -0,9 \cdot 10^5$ V **c)** 36 J
		2. –3,6 J
307	2.5	$\frac{3}{4}$
310	2.6	**a)** A levhasından B levhasına doğru, $12,8 \cdot 10^{-17}$ N **b)** $8 \cdot 10^{10}$ m/s^2 **c)** $3.84 \cdot 10^{-17}$ J **ç)** $4\sqrt{30} \cdot 10^4$ m/s **d)** $\frac{\sqrt{30}}{2} \cdot 10^{-6}$ s
315	2.7	1 olur. Sığa yük miktarına bağlı değildir.
318	2.8	D

330	2.9	a) b) c) ç)
337	2.10	$B_K = 4 \cdot 10^{-5}$ T, ⊙ $B_L = 6 \cdot 10^{-5}$ T, ⊗
338	2.11	$B = 2 \cdot 10^{-6}$ T, ⊙
339	2.12	KL doğrusu üzerinde, K den 6 cm uzaklıkta
340	2.13	$\sqrt{5}$
341	2.14	$9 \cdot 10^{-6}$ T, ⊗
342	2.15	$1.6 \cdot 10^{-5}$ T, ⊙
343	2.16	$3 \cdot 10^{-3}$ T, ⟵
344	2.17	Uygulama ve doğrulama sorusu olup cevapları şekil üzerindedir.
349	2.18	$\frac{7}{2}\vec{F}$
353	2.19	X, saat yönünün tersine Y, saat yönünde
363	2.20	1 yönünde
364	2.21	**a)** K (+), L(–) **b)** 0,48 V
368	2.22	**a)** 2 yönünde **b)** 1 yönünde **c)** 2 yönünde **ç)** 1 yönünde
391	2.23	I, II ve III
402	2.24	I, II ve III

SÖZLÜK

A

ağırlık : Bir cismin birim kütlesine etki eden çekim kuvveti.
akım : Bir iletkenin kesitinden birim zamanda geçen yük miktarı.
ampermetre : Akım şiddetinin ölçülmesinde kullanılan alet.
atom : Bir elementin özelliğini taşıyan en küçük yapı taşı.

B

basınç : Birim alana düşen kuvvet.

Ç

çubuk mıknatıs : Sert çelikten yapılmış kalıcı mıknatıs özellikli çubuk cisim.

D

dielektrik : Elektrik akımı taşıyacak serbest elektronları olmayan ancak bir yalıtkan gibi elektrik gerilimine dayanabilen ve elektrik alanda kutuplanma gösteren madde özelliği.
dielektrik sabiti : Bir maddenin dış elektriksel etkiye zıt olarak yüklenebilme ölçüsü.
dinamometre : Kuvvetölçer.
direnç : İletkenlerin elektrik yüklerinin geçişine gösterdiği zorluk.

E.

elektrik alan : Birim elektrik yükü üzerine etkiyen Coulomb kuvveti.
elektriksel potansiyel fark : Birim elektrik yükünün iki nokta arasında taşınmasında yapılan elektriksel iş veya harcanan elektriksel enerji.
elektrik yükü : Maddedeki elektrik miktarı, elektron eksikliği ya da fazlalığı, elektriğin maddeden ya da ortamdan geçen miktarı.
elektroliz : Elektrik enerjisi yardımıyla bir sıvı içinde çözünmüş kimyasal bileşikleri ayrıştırma işlemi.
elektroskop : Maddelerin elektrikle yüklü olup olmadığını tespit etmeye yarayan araç.
elektrostatik : Durgun hâldeki elektrik yüklerinden kaynaklanan olayları inceleyen fizik dalı.
elektrot : Bir elektrolitin içine daldırılan artısına anot, eksisine katot denilen çubuktan her biri.
eylemsizlik : Cismin durumundaki değişikliğe karşı koyma direnci.

F

frekans : Periyodik olaylarda bir saniyedeki devir sayısı, sıklık.

G

güç : Birim zamanda yapılan iş.

H

hareket : Seçilen bir başlangıç noktasına göre zamanla yer değiştirme eylemi.
hız : Birim zamandaki yer değiştirme.

İ

iletken : Elektrik akımını ya da ısıyı kendi üzerinden geçiren cisim.
iş : Yol doğrultusundaki kuvvetin, etki ettiği cismin yer değiştirmesi ile çarpımı.
ivme : Hızın birim zamandaki değişme miktarı.

K

kinetik enerji : Cismin hareketi nedeniyle sahip olduğu enerji.

kuvvet : Duran bir nesneyi istenilen yön ve doğrultuda hareket ettiren, hareket hâlindeki bir nesneyi durduran ya da hızını yavaşlatan, bazı nesnelerde şekil değişikliği yapabilen etki.

M

manyetik alan : Kalıcı bir mıknatısın veya akım taşıyan bir iletkenin çevresinde manyetik kuvvet etkisini gösterdiği bölge.

manyetik madde : Mıknatıs tarafından çekilebilen madde.

mıknatıs : Demir, nikel, kobalt gibi maddeleri çekebilen cisim.

motor : Herhangi bir enerjiyi mekanik enerjiye dönüştüren düzenek.

N

Newton : SI birim sisteminde kuvvet birimi.

nicel : Ölçülebilir büyüklükler.

nicelik : Bir şeyin sayılabilen, ölçülebilen, azalıp çoğalabilen hâli, büyüklük.

O-Ö

ohm : Direnç birimi.

özdeş : Her türlü nitelik bakımından birbirine eşit olan, ayırt edilemeyecek kadar benzer olan, aynı.

öz direnç : İletkenlerin birim uzunluk ve kesitteki parçalarının direnci.

P

periyodik : Belli aralıklarla tekrarlanan, süreli.

pil : Kimyasal enerjiyi elektrik enerjisine dönüştüren düzenek.

pusula : Üzerinde kuzey güney doğrultusunu gösteren bir mıknatıs iğnesi bulunan ve yön tespit etmek için kullanılan araç,

R

reosta : Devreye değişik değerlerde direnç konulmasını sağlayarak akım şiddetini değiştirmeye yarayan araç.

S

sarım : Bir yalıtkan üzerine iletken sarılarak oluşturulan akım makarasının her bir halkası.

simülasyon : Benzetim.

T

tepki : Bir eylemin uyandırdığı karşı eylem.

titreşim : Esnek cisimlerin yaptıkları düzenli salınım.

U-Ü

üreteç : Değişik enerji türlerini elektriksel potansiyel enerjiye dönüştüren araç.

üreteç kutupları : Üretecin pozitif ve negatif uçları.

V

vektörel büyüklük : Ölçülen bir büyüklüğü sayısal rakam ve birim yanında şiddeti, yönü, doğrultusu ve başlangıç noktası ile belirten ifade.

volt : Elektriksel potansiyel veya potansiyel farkı birimi.

voltmetre : Potansiyel farkını ölçmek için kullanılan alet.

Y

yalıtkan : Isıyı ve elektrik akımını iletmeyen veya çok az ileten madde.

yasa : Doğruluğu evrensel olarak kabul edilmiş fikirler.

yer çekimi : Yerin cisimlere uyguladığı çekim kuvveti.

KAYNAKÇA

Baran, Bekir. *“Bilim Tarihi ve Felsefesi Öğretim Metodunun Fen Bilimlerine Yönelik Tutum ve Motivasyon Üzerine Etkisi.”* Yüksek Lisans Tezi, Tokat, 2013.

Bilim ve Teknik dergisi, *“Bilimin Kutsal Hazineleri”* Ankara: TÜBİTAK Yayınları, s.55-56, Aralık 2006.

Bold, A., H. Toros ve O. Şen. *“Manyetik Alanın İnsan Sağlığı Üzerindeki Etkisi”*, III. Atmosfer Bilimleri Sempozyumu, İTÜ, İstanbul: Mart 19-21 2003.

Fizik Dersi Öğretim Programı (9, 10, 11 ve 12. Sınıflar). Ankara: MEB, 2018.

Gasiorowicz, Stephen, Paul M. Fishbane ve Stephen T. Thornton. *“Temel Fizik 1-2”*, Haz.: Cengiz Yalçın. Ankara: Arkadaş Yayıncılık, 2009.

Margaret, Cheney. *“Zamanın Ötesindeki Deha Tesla”* , Çev.: Okhan Gündüz. İstanbul: Aykırı Yayıncılık, 2002.

Sürekli Tıp Eğitim Dergisi, Haz., Güledal Boztaş ve Hilal Özcebe, 2005.

Türkçe Sözlük. Ankara: Türk Dil Kurumu Yayınları, 2011.

Yazım Kılavuzu. Ankara: Türk Dil Kurumu Yayınları, 2012.

GENEL AĞ KAYNAKLARI

http://www.bilimteknik.tubitak.gov.tr/sites/default/files/bilgipaket/biliminsanlari/caglarboyu/S-303-141.pdf (02.01.2018) (s.17)

https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25470887 (5.02.2018) (s.18)

http://doczz.biz.tr/doc/32561/galileo-galilei---okan-%C3%BCniversitesi (15.01.2018(s. 40)

http://www.ttb.org.tr/STED/sted0605/trafik.pdf (22.01.2018) (s. 65)

http://www.eba.gov.tr/hakkimizda (25.01.2018) (s. 96)

http://eski.bingol.edu.tr/media/258313/ArsYonBolum4-Kaynak-Gostermenin-Onemi-ve-Temel-Kurallar.pdf (11.01.2018) (s. 97)

http://www.content.lms.sabis.sakarya.edu.tr/Uploads/51532/38140/cirit_atma.pptx (6.01.2018)(s. 132)

http://bilimgenc.tubitak.gov.tr/makale/abdde-basaridan-basariya-kosan-bir-turk-kizi-dr-canan-dagdeviren (19.01.2018) (s. 157)

https://www.ntv.com.tr/saglik/dr-canan-dagdeviren-motivasyonu-ataturkten-aliyorum,_fOfNmU9e0Ofa-ogPphurEg (19.01.2018) (s. 158)

http://www.astronomi.istanbul.edu.tr/dersnotlari/astronotik/Astronotik_2014_2.pdf (6.01.2018) (s. 192-193)

https://www.math.nyu.edu/~crorres/Archimedes/Lever/LeverIntro.html (8.01.2018) (s. 240)

http://sbf.beun.edu.tr/dosyalar/notlar/Kinezyoloji_I_2.pdf (11.01.2018) (s. 240)

http://adiyaman.edu.tr/TR/Haberler/Universiteden-Haberler/Taramali-Elektro-Mikroskopu-Numune-Ali¬mina-Basladi-977 (07.01.2018) (s. 267)

http://ffden-2.phys.uaf.edu/212_fall2003.web.dir/don_bahls/introduction.html (07.01.2018) (s. 271)

http://www.bilimteknik.tubitak.gov.tr/sites/default/files/bilgipaket/madde/tarihce_27.html (07.01.2018) (s. 271-272)

http://www.bilimteknik.tubitak.gov.tr/sites/default/files/bilgipaket/madde/tarihce_28.html (07.01.2018) (s. 271-272)

http://www.bilimteknik.tubitak.gov.tr/sites/default/files/bilgipaket/biliminsanlari/caglarboyu/S-6-28.pdf (07.01.2018) (s. 278)

http://web.firat.edu.tr/feeb/kitap/C12/135.pdf (07.01.2018) (s. 281)

https://phet.colorado.edu/tr/simulation/charges-and-fields (08.01.2018) (s. 293)

http://80.251.40.59/science.ankara.edu.tr/aozansoy/f-355/millikan_2011.pdf (08.01.201s) (s. 311)
http://www.dunyabulteni.net/bilim-teknoloji/269673/enerji-depolama-alaninda-devrim (08.01.2018) (s. 321-322)
http://kisi.deu.edu.tr/aytac.goren/ELK2015/h3.pdf (09.01.2018) (s. 326-373, 396 - 404)
http://www.bilimteknik.tubitak.gov.tr/sites/default/files/bilgipaket/madde/tarihce_8.html (08.01.2018) (s. 327-328)
http://tsgphysics.mit.edu/pics/G%20Magnetic%20Fields/G12%20Wire%20Loop%202.jpg (20.06.2018)
http://web.itu.edu.tr/~kcankocak/docs/ntv-kerem-cankocak-cern-yanlislar-dogrular.pdf Doç.Dr. Kerem Cankoçak (ITÜ Fizik bölümü 09.01.2018) (s. 354)
http://w3.gazi.edu.tr/~ozkaraca/elektronik/bolum_1.pdf (10.01.2018) (s. 376-393)
http://w3.gazi.edu.tr/~ozkaraca/elekbook.html (10.01.2018) (s. 376-393)
http://kisi.deu.edu.tr/levent.cetin/h02.pdf (10.00.2018) (s. 376-393)
http://engineering.mit.edu/ask/what%E2%80%99s-difference-between-ac-and-dc (11.01.2018) (s. 376-393)
http://energy.gov/articles/history-light-bulb (11.01.2018) (s. 382-383)
http://dergipark.gov.tr/download/article-file/323747 (11.01.2018) (s. 409-410)
http://www.emo.org.tr/ekler/96c08f8bb7960e1_ek.doc?tipi=34&turu=X&sube=0 (11.01.2018) (s. 411)
http://hbogm.meb.gov.tr/MTAO/3ElektrikBilgisi/unite17.pdf (12.01.2018) (s. 396-404)
http://www.tdk.gov.tr (Kitap Geneli)
http://www.eba.gov.tr (Kitap Geneli)

GÖRSEL KAYNAKÇA

Görsel No	Shutterstock ID No	Görsel No	Shutterstock ID No	Görsel No	Shutterstock ID No
1.4	81842386	1.34	92863084	1.65	136866725
1.5	57814998	1.35	198925643	1.66	91750055
1.6	77605315	1.36	885508086	1.67	129188849
1.7	107815157	1.37	146659658	1.68	179076536
1.8	151371953	1.40	429253	1.69	945055458
1.9	132264680	1.41	889480803	1.71	105681386
1.10	760206664	1.42	271358387	1.72	8520853
1.11	121770742	1.43	145646798	1.73	155771828
1.12	381585016	1.44	73565203	1.74	115116418
1.13	176290760	1.45	122906218	1.75	127150430
1.14	88124209	1.46	153710405	1.76	78229843
1.15	164487761	1.47	121144111	1.77	255815620
1.16	161689220	1.48	261888614	1.78	35789634
1.17	67676389	1.49	44900889	1.79	132054887
1.18	260656910	1.50	114973828	1.80	132508847
1.19	59898817	1.51	419070442	1.81	82072285
1.20	2587320	1.52	70404982	1.82	163862273
1.21	241481113	1.53	1557386	1.83	150951065
1.22	17674389	1.54	64338370	1.85	59054962

1.23	109129664	1.55	139867636	1.86	132558410
1.24	392061	1.56	83385613	1.87	2744176
1.26	62604760	1.57	155843945	1.88	127785695
1.27	130076789	1.58	251672740	1.89	208408690
1.28	72599050	1.59	151504616	1.90	154974680
1.29	154929704	1.60	1062962096	1.91	106344932
1.30	92321473	1.61	126938606	1.92	113496667
1.31	185688191	1.62	80543	1.93	141367417
1.32	110047457	1.63	71453077	1.94	15821743
1.33	32046415	1.64	9708178	1.95	219603649
1.96	177782633	1.116	45386731	2.1	63981406
1.97	132047096	1.119	45386731	2.2	144914467
1.98	54021985	1.120	45386731	2.3	181855841
1.99	98983154	1.121	45386731	2.4	105928856
1.100	106088189	1.122	49540816	2.5	213388423
1.101	89594233	1.123	14135510	2.7	091668
1.102	145732055	1.124	15174949	2.9	88369744
1.103	152031362	1.125	201166820	2.10	136749990
1.104	180367352	1.126	126971987	2.12	9362404
1.106	152325497	1.127	218591464	2.17	128001347
1.107	130196291	1.128	85754290	2.18	86050216
1.108	13568005	1.129	5359972	2.19	78699898
1.109	130076777	1.130	209331985	2.21	7870564
1.110	605424977	1.131	387374335	2.22	89020693
1.111	156084626	1.132	677232602	2.24	120009469
1.112	2604776	1.138	111171971	2.26	1269282235
1.113	132429389	1.140	111433568	2.29	237232039
1.114	213980647	1.143	107371220	2.30	109106825
1.115	45386731	1.144	172403801	2.31	105167804

Yayın evi arşivi
Görsel 1.1; 1.2; 1.3; 1.25; 1.38; 1.39; 1.84; 1.105; 1.117; 1.118; 1.132; 1.133; 1.134; 1.135; 1.136; 1.137; 1.142; 2.8; 2.13; 2.14; 2.15; 2.16; 2.20; 2.23; 2.25; 2.27; 2.28; 2.32; 2.33; 2.34; 2.35; Sayfa 124; 148; 174 186; 2.10; 2.11; s.295 biliyor musunuz? s.330-331 Deney 2.1; s.335 Etkinlik 2.3; s.345 Etkinlik 2.4; s.356 Etkinlik 2.5; 2.25; s.398 Deney 2.3 Şekil 1.26; 1.41; 1.42; 1.45; 1.54; 1.65; 1.87; 1.105; Kitapta kullanılan resimlemeler yayınevi görsel tasarım uzmanı tarafından hazırlanmıştır. Örnek 23; 671274946, örnek 25; 23396512, örnek 26; 172222097, örnek 29; 149343356, örnek 30; 72381787, örnek 35; 120992203, örnek 29; 105095624, örnek 40; 131055332, örnek 41; 52649824, örnek 42; 162837986, örnek 59; 97616756; örnek 64; 182023208
http://www.shutterstock.com/ (Telif hakkı ödenerek satın alınmıştır.)